



Diogo Sócrates de Figueiredo Mota Martins

Licenciado em Ciências de Engenharia Mecânica

**Contributos para a conceção de uma
unidade fabril de granulado de cortiça**

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em
Engenharia Mecânica

Orientador: Doutor João Manuel Vicente Fradinho, Professor Auxiliar
da Faculdade de Ciências e Tecnologias, Universidade Nova de Lisboa



FACULDADE DE
CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE NOVA DE LISBOA

Setembro 2018

Contributos para a conceção de uma unidade fabril de granulado de cortiça

Copyright Diogo Sócrates de Figueiredo Mota Martins, Faculdade de Ciências e Tecnologia,
Universidade Nova de Lisboa.

A Faculdade de Ciências e Tecnologia e a Universidade Nova de Lisboa têm o direito, perpétuo e sem limites geográficos, de arquivar e publicar esta dissertação através de exemplares impressos reproduzidos em papel ou de forma digital, ou por qualquer outro meio conhecido ou que venha a ser inventado, e de a divulgar através de repositórios científicos e de admitir a sua cópia e distribuição com objetivos educacionais ou de investigação, não comerciais, desde que seja dado crédito ao autor e editor.

Ao Engenheiro Miguel Sócrates Martins.

Agradecimentos

Ao meu orientador, Professor João Fradinho, gostaria de expressar o meu agradecimento pelo empenho no desenvolvimento do trabalho final e pela disponibilidade ao longo dos últimos meses. Sem o seu contributo e experiência, maioritariamente nos tópicos da indústria corticeira, muitas das inovações que serão apresentadas no trabalho não seriam possíveis de alcançar. Agradeço também o interesse demonstrado pelo tema e os conhecimentos e conselhos transmitidos.

Agradeço o apoio prestado pelo Engenheiro Tiago Ferreira, e pelos colaboradores da UI-Equipar de Coruche, pela disponibilidade demonstrada nas duas visitas realizadas à fábrica, e pela partilha da sua experiência e conhecimentos, possibilitando um desenvolvimento mais completo dos vários tópicos desta dissertação.

Ao Sr. Carlos Garcia da Regina Cork, pela visita às instalações, bem como pelos contributos informativos sobre a indústria e as suas particularidades, um muito obrigado.

Um agradecimento muito especial à minha mãe e às minhas irmãs, pelo apoio prestado e pelo incentivo ao longo do curso, fosse este transmitido de que maneira fosse, e à minha família por serem um corpo sempre presente na minha vida.

À minha namorada Mafalda Gonçalves, um muito obrigado pelo apoio, paciência e incentivo ao longo dos últimos meses.

Aos colegas que me acompanharam ao longo dos 5 anos que se passaram, tanto a nível de trabalho, como pela amizade que partilhámos, Rafaela Mateus, Mariana Condeço, Fábio Albuquerque, Miguel Ferreira, Henrique Serra, Rui Alface, Olehr Tkatchuk, entre outros.

Agradecer à minha família académica pelo apoio, incentivo e pelos bons tempos passados em conjunto, em particular aos meus padrinhos pelo exemplo que se tornaram.

Agradeço por último à Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa e a todos os professores e auxiliares que me acompanharam ao longo da minha formação.

Resumo

A presente dissertação descreve vários aspetos críticos a considerar na conceção de uma unidade fabril recorrendo a um exemplo prático de uma instalação industrial de granulado de cortiça. Este exemplo surge da constatação de que esta indústria se tem mantido relativamente constante ao longo dos tempos, o que cria um ambiente propício à exploração de hipóteses de modernização e otimização do processo.

Na fase inicial da dissertação é feito um levantamento das várias etapas do processo através de uma análise crítica das soluções atuais, procurando encontrar problemas recorrentes nas diferentes unidades industriais e quais as causas principais dos mesmos. Tendo estes problemas como ponto de partida, e através da aplicação de teorias e metodologias de projeto, foram desenvolvidos novos *layouts* a nível conceptual com o objetivo de amenizar ou eliminar estes pontos negativos da indústria.

O projeto final apresentado é o culminar de todas inovações e ideias introduzidas ao longo do trabalho, resultando no *layout* final de uma fábrica de trituração de cortiça mais eficiente a nível energético e a nível de aproveitamento da matéria-prima e desenvolvida com o intuito de garantir a máxima segurança dos operadores e uma maior facilidade de manutenção dos equipamentos.

Palavras-chave: Cortiça, Trituração, Granulado, Teoria Axiomática de Projeto, Facilidade de Manutenção, Fase Conceptual de Projeto

Abstract

This thesis describes several topics that should be considered when developing any industrial plant. It does so through the example of a cork granulation factory. This example was chosen due to the fact that through the years, the cork granulation industry has had little to no developments, resulting in an interesting and underexplored environment with many possibilities to optimize and modernize the production process.

In the initial part of the thesis, the different stages of the process were studied and analyzed looking to find the main issues, as well as their causes, within the traditional and most frequently found process.

Through the use of design theories, new conceptual layouts were attained, aiming to reduce or overcome the current issues and to reevaluate many of the decisions made in the past.

The final design is a compilation of all the new ideas and innovations introduced. This design presents itself as much more efficient in terms of raw matter usage and overall power consumption. These designs were also developed to assure better safety condition to the plant workers and to ease the maintenance operations throughout the various stages of the process.

Keywords: Cork, Milling, Granules, Axiomatic Design Theory, Maintainability, Conceptual Stage of Design.

Índice

1	Introdução	11
1.1	Objetivos	11
1.2	Estrutura da dissertação	11
1.3	Necessidades do cliente	12
1.4	Produção	14
1.5	Horário de funcionamento	14
2	Cortiça	15
2.1	Origem e Características	15
2.2	Indústria Corticeira	16
2.3	Extração da Cortiça	16
2.4	Período de Repouso	17
2.5	Matéria-prima para Trituração	18
3	Teorias e Metodologias de Projeto	19
3.1	Teoria Axiomática	19
3.1.1	Metodologia do Projeto Axiomático	19
3.1.2	Axioma da Independência	21
3.1.3	Axioma da Informação	22
3.1.4	Teoremas	23
3.2	<i>Design for Maintainability</i>	24
4	Processo de Trituração Tradicional	27
4.1	Indústria Tradicional	27
4.2	Alimentação da Matéria-prima	28
4.3	Primeira Fase de Trituração	29
4.3.1	Moinhos de martelos	29
4.3.2	Moinhos de estrelas	30
4.3.3	Moinhos de facas	31
4.3.4	Pré-trituradores	31
4.4	Secagem	32
4.4.1	Período de repouso	32
4.4.2	Secador de tambor	33
4.4.3	Fontes de calor	33
4.4.4	Controlo da humidade	33
4.5	Primeira Peneiração	34
4.5.1	Peneiros vibratórios	34
4.6	Segunda Fase de Trituração	35
4.6.1	Mós	35
4.6.2	Moinho centrífugo	36
4.7	Segunda Peneiração	36
4.7.1	<i>Rotexes</i>	36
4.7.2	Intervalos granulométricos	37
4.8	Separação Densimétrica	37

4.8.1	Mesas densimétricas.....	38
4.9	Recirculação da cortiça.....	39
4.10	Transporte dos Granulados	40
4.10.1	Transporte pneumático	40
4.10.2	Tapetes rolantes.....	40
4.10.3	Parafusos-sem-fim.....	41
4.10.4	Gravidade	41
4.11	Armazenamento, Ensaque e Expedição.....	41
4.11.1	Silos de armazenamento.....	42
4.11.2	Big-Bags.....	42
4.12	Remoção de Pó de Cortiça.....	42
4.12.1	Ciclones.....	43
4.12.2	Malhas de separação.....	44
4.12.1	Peneiros.....	44
4.13	Filtragem e Reaproveitamento do Pó de Cortiça	44
4.13.1	Filtragem do Ar	44
4.13.2	Silos de pó.....	45
4.13.3	Queima do pó	45
4.13.4	Venda do pó	46
4.13.5	Cogeração.....	46
4.14	Sistemas Anti-Incêndio.....	46
4.14.1	Chapas magnetizadas	47
4.14.2	Detetores de incêndio	47
4.14.3	Alarmes de incêndio.....	47
4.14.4	Válvulas de fecho automático	47
4.14.5	Sistema de <i>Sprinklers</i>	48
5	Conceção do projeto da fábrica.....	49
5.1	Alimentação da Cortiça	49
5.1.1	Abordagem axiomática do problema	49
5.1.2	Solução Proposta.....	50
5.1.3	Layout Final	51
5.2	Primeira Fase de Trituração.....	54
5.2.1	Abordagem axiomática do problema	55
5.2.2	Capacidade de manutenção dos moinhos	57
5.2.3	Trituradores	57
5.2.4	Sistema doseador.....	59
5.2.5	Silos.....	60
5.2.6	Layout Final	61
5.2.7	Mais valias do sistema proposto.....	62
5.3	Secagem.....	63
5.3.1	Abordagem axiomática à problemática de ajuste dos parâmetros	64
5.3.2	Divisão da secagem por fases.....	66

5.4	Primeira Peneiração.....	69
5.4.1	Peneiros oscilantes	70
5.4.2	<i>S & F Oscillating screening machine ASM series</i>	70
5.4.3	<i>S & F Oscillating screening machine ASM 300</i>	71
5.5	2ª Fase de Trituração	72
5.5.1	Moinho Universal.....	72
5.5.2	Alimentação da cortiça e disposição dos moinhos	73
5.6	Segunda Peneiração.....	74
5.6.1	Soluções alternativas	74
5.6.2	<i>GKM - KTS Tumbler Screening Machine</i>	75
5.6.3	<i>GKM – KTS 2400</i>	78
5.7	Separação Densimétrica	78
5.7.1	Variabilidade da eficiência das mesas	78
5.7.2	Influência do controlo da alimentação das fases anteriores do processo.....	81
5.7.3	Abordagem axiomática à problemática de ajuste dos parâmetros	81
5.7.4	Mesas densimétricas CIMBRIA.....	83
5.7.5	Dimensionamento do equipamento	85
5.8	Recirculação de Cortiça e Trituração Final	88
5.9	Processo de Ensaque.....	89
5.9.1	Abordagem axiomática do problema	90
5.9.2	Escolha dos sacos	94
5.10	Armazém do produto final.....	95
5.11	Filtragem e Aproveitamento do Pó de Cortiça	96
5.11.1	Localização dos filtros do pó.....	96
5.11.2	Silo do pó	97
5.11.3	Cogeração.....	97
5.12	Aproveitamento Topográfico.....	98
5.13	Planta 99	
5.14	Layout final do processo.....	102
5.15	Redes adicionais da Indústrias.....	103
5.15.1	Rede de Ar comprimido	103
5.15.2	Rede Anti-Incêndio	104
5.15.3	Rede Elétrica	107
5.15.4	Postos de Trabalho	108
5.16	Controlo da Produção e Eficiência da Matéria-prima.....	109
6	Conclusão	111
	Bibliografia	113
	Anexos	117

Índice de figuras

Figura 2.1 – Sobreiro descortçado.....	15
Figura 2.2 – Descortiçamento de ramos (OLHAPIM, 2011).....	17
Figura 2.3 – Descortiçamento do tronco (PUBLICO, 2016).....	17
Figura 2.4 – Refugo cozido (Apolinário, 2017)	18
Figura 2.5 – Aparas especial (Apolinário, 2017)	18
Figura 2.6 – Aparas de broca (Koriumunique, 2014)	18
Figura 3.1 – Relações entre domínios axiomáticos (Suh, 2005).....	21
Figura 3.2 – Princípios da teoria “ <i>Design for Maintainability</i> ” (NASA, 2008).....	25
Figura 4.1 – Granulado de cortiça (Pecheur, 2016).....	27
Figura 4.2 – Processo típico de uma indústria de trituração de cortiça	28
Figura 4.3 – Mini pá carregadora (STET, 2018a).....	29
Figura 4.4 – Pá carregadora (STET, 2018b).....	29
Figura 4.5 – Moinho de martelos e pormenor dos martelos de corte (TEQUIMAQ, 2018).....	30
Figura 4.6 – Triturador de estrelas e respetivos veios dentados (TEQUIMAQ, 2018).....	30
Figura 4.7 – Triturador de facas e respetivas lâminas de corte (EUROPESHREDDERS, 2018).....	31
Figura 4.8 – Fluxo de cortiça no tambor.....	33
Figura 4.9 – Secador de tambor.....	33
Figura 4.10 – Malhas para diferentes dimensões (PRODUTIVA, 2018)	34
Figura 4.11 – Peneiro vibratório (TEQUIMAQ, 2018)	35
Figura 4.12 – Moinho centrífugo ou universal e detalhe das facas de corte (TEQUIMAQ, 2018)	36
Figura 4.13 – <i>Rotex</i> (TEQUIMAQ, 2018) e respetivo esquema de funcionamento (Ferreira, 2017)	37
Figura 4.14 – Diferentes grupos de densidade (Ferreira, 2017)	38
Figura 4.15 – Mesa densimétrica (TEQUIMAQ, 2018).....	39
Figura 4.16 – Aplicação na indústria corticeira (LEILOSOC, 2018)	39
Figura 4.17 – Esquema de funcionamento do transportador pneumático (adaptado Van Ormer, 2018) ...	40
Figura 4.18 – Armazenamento dos sacos (CBE, 2018).....	42
Figura 4.19 – Big Bag (Nier Systems, 2018).....	42
Figura 4.20 – Esquema de funcionamento de um ciclone (Ferreira, 2017)	43
Figura 4.21 – Funcionamento de um filtro de mangas (Astec, 2018).....	45
Figura 4.22 – Central de Cogeração com capacidade de 6 MW (FLUCAL, 2018).....	46
Figura 4.23 – Exemplos de <i>Sprinklers</i> (FPS, 2018)	48
Figura 5.1 – Representação aérea das áreas de armazenamento de matéria-prima	51
Figura 5.2 – Vista de topo e dimensões gerais das áreas de armazenamento de matéria-prima.....	52
Figura 5.3 – Edifício da trituração inicial com áreas de <i>buffer</i>	53
Figura 5.4 – <i>DGM DGS General Purpose Single Shaft Shredder</i> (DGM, 2018)	58
Figura 5.5 – Detalhe construtivo do acesso ao crivo e às ferramentas de corte (RAWMEC, 2018)	58
Figura 5.6 – Representação e dimensões gerais do triturador DGS 1500.....	59
Figura 5.7 – Representação e dimensões gerais dos silos.....	60
Figura 5.8 – Sistema de trituração primário	61
Figura 5.9 – Representação gráfica dos secadores de tambor	68

Figura 5.10 – Disposição dos secadores	69
Figura 5.11 – S&F Oscillating Screening Machine (S&F GmbH, 2018)	70
Figura 5.12 – Representação e dimensões gerais do peneiro ASM 300	71
Figura 5.13 – Dimensões gerais do moinho universal.....	72
Figura 5.14 – Esquema de montagem do primeiro peneiro e moinhos.....	73
Figura 5.15 – APEX™	74
Figura 5.16 – GKM - KTS Tumbler Screening Machine	75
Figura 5.17 – Poliestireno expandido granulado	76
Figura 5.18 – Representação e dimensões gerais do Peneiro GKM KTS 2400.....	78
Figura 5.19 – Representação esquemática de uma mesa densimétrica (Dodbiba & Fujita, 2015)	80
Figura 5.20 – Sistema de doseamento (esquerda) e Buffer (direita) (CIMBRIA, 2018a)	83
Figura 5.21 – Interface gráfica do controlador eletrônico (CIMBRIA, 2018a)	84
Figura 5.22 – Pinos de estratificação (CIMBRIA, 2018a)	84
Figura 5.23 – Cobertura de aspiração de pó (CIMBRIA, 2018a).....	84
Figura 5.24 – CIMBRIA Gravity table GA210 (CIMBRIA, 2018b).....	85
Figura 5.25 – Representação gráfica e dimensões gerais da mesa densimétrica CIMBRIA GA210.....	86
Figura 5.26 – Esquema de montagem do segundo peneiro e das mesas densimétricas	87
Figura 5.27 – Trituradores finais e sistema de recirculação da cortiça.....	88
Figura 5.28 – Disposição das mesas e respetivos sacos	93
Figura 5.29 – Balança IFN - 1500 BAXTRAN	94
Figura 5.30 – Diferentes exemplos de <i>Big-Bags</i> (CargoHandbook, 2018)	94
Figura 5.31 – Dimensões gerais da zona de armazém e disposição dos sacos	95
Figura 5.32 – Localização da central de cogeração, da zona de filtragem e do silo do pó.	98
Figura 5.33 – Perfil da fábrica e distribuição dos equipamentos do processo pelos vários patamares	99
Figura 5.34 – Planta simplificada da fábrica	100
Figura 5.35 – <i>Layout</i> final	102
Figura 5.36 – Rede de ar comprimido	103
Figura 5.37 – Compressor GA 15 VSD +	104
Figura 5.38 – Exemplo de um sistema anti chispas	106
Figura 5.39 – Rede anti-incêndio	106
Figura 5.40 – Representação da rede elétrica	108

Índice de tabelas

Tabela 3.1 – Os três tipos de projeto quanto à satisfação do Axioma da Independência (Park, 2007).....	22
Tabela 4.1 – Intervalos granulométricos tradicionais	37
Tabela 5.1 – Área disponível e capacidade exterior de armazenamento	52
Tabela 5.2 – Dimensões e capacidade do armazém inicial.....	53
Tabela 5.3 – Capacidade de separação de cortiça consoante o modelo do peneiro GKM KTS	77
Tabela 5.4 – Potências requeridas pelo processo.....	107

Glossário

AISI – American Iron and Steel Institute

ANSI – American National Standards Institute

APCOR – Associação Portuguesa da Cortiça

AT – Axiomatic Theory

CN – Customer Needs

CIPR – Código Internacional de Práticas Rolheiras

DIN – Deutsches Institut für Normung (em português: Instituto Alemão para Normatização)

DP – Design parameters

FR – Functional Requirements

ISO – International Organization for Standardization

PV – Process Variable

TA – Teoria Axiomática

TCA – Tricloroanisole

1 Introdução

A fase inicial de projeto é a que mais influência tem no desenvolvimento de uma indústria, sendo que é nesta que cerca de 70 a 90 % dos custos associados de um produto ou serviço são definidos ((Brimson, 87) (Weck, 90), cit. por (Mourão 1999)).

Idealmente, e à luz da afirmação anterior, as decisões tomadas pelo projetista devem ter em conta todas as hipóteses existentes e todas as limitações de cada solução associada. Apenas então será hipoteticamente possível obter-se a solução ideal para um dado problema.

Na realidade, e ao longo da evolução da indústria, é perceptível que por mais complexo e detalhado que seja o projeto, não existem soluções perfeitas e que, independentemente do resultado final, há sempre espaço para melhorias. Assim sendo, o trabalho do projetista consiste em encontrar a solução que mais se aproxime do ideal, tendo sempre em consideração as limitações de projeto e as necessidades finais dos clientes.

1.1 Objetivos

O trabalho focar-se-á na inovação e na reinterpretação do processo de trituração em busca de métodos e tecnologias capazes de obter melhor rendimento, focando-se no desenvolvimento de ideias e conceitos ao invés da projeção integral de todos os componentes que serão descritos.

Após a fase inicial de estudo dos constituintes destas indústrias e das interações entre eles, serão utilizadas várias ferramentas, com destaque para a teoria axiomática desenvolvida pelo professor Suh, no sentido de encontrar no contexto das triturações de cortiça, padrões que revelem ser más práticas presentes no projeto tradicional. Partindo desses padrões será idealizada uma implantação com vista a garantir o desacoplamento dos vários sistemas e procurando atingir um projeto conceptualmente próximo do ideal.

Reduzir as despesas energéticas, reduzir desperdícios, facilitar as atividades de manutenção e procurar automatizar o processo são alguns dos pontos chave deste trabalho.

Este projeto será pensado de forma autónoma, não tendo como objetivo corresponder à indústria tradicional, e não será limitado por quaisquer constrangimentos monetários.

1.2 Estrutura da dissertação

A presente dissertação encontra-se dividida em 6 capítulos principais, cada um destes dividido em vários subcapítulos.

O primeiro capítulo reflete uma introdução à temática do desenvolvimento de projetos e apresenta os objetivos da dissertação e a estrutura da mesma. No seguimento serão apresentadas as condições iniciais e os pontos de partida para o desenvolvimento da implantação industrial.

O segundo capítulo introduz a cortiça como matéria-prima, falando um pouco sobre a sua origem, as suas características básicas e o método de extração do material. É feita posteriormente uma introdução à indústria corticeira, abordando quais os maiores produtores a nível mundial e quais os mercados principais da cortiça nos dias de correm. No fim do capítulo são explicitados os tipos de cortiça que serão à partida alimentados no processo de trituração.

O terceiro capítulo servirá de base para o restante conteúdo da dissertação, sendo neste que as teorias e as metodologias a utilizar ao longo do desenvolvimento do projeto serão explicitadas. As teorias que serão apresentadas são a Teoria Axiomática de Projeto e o *Design for Maintainability*.

No quarto capítulo da dissertação será apresentado o processo tradicional de trituração de cortiça, iniciando o capítulo com uma visão geral do processo na sua totalidade, seguido de uma descrição de cada etapa do mesmo, falando dos equipamentos utilizados e dos procedimentos associados aos mesmos, bem como uma visão global dos sistemas encontrados nestas indústrias.

No quinto capítulo serão introduzidos alguns dos problemas mais comuns às triturações tradicionais e será feita uma reflexão sobre quais são os seus impactos na implantação. A partir destes, e para cada situação descrita, será feita uma abordagem recorrendo às metodologias apresentadas no terceiro capítulo com o intuito de os resolver, minimizar ou evitar, obtendo um projeto conceptual de uma indústria de trituração.

O último capítulo da dissertação destina-se à apresentação das conclusões que foram retirados através do trabalho desenvolvido.

1.3 Necessidades do cliente

O desenvolvimento do projeto proposto tem como objetivo responder à procura de um cliente arbitrário de um projeto que melhor se adequa ao que são os requisitos fundamentais de uma fábrica de trituração. Para além da necessidade de satisfação destes requisitos, procura também que o projeto apresentado possua qualidades consideradas como mais valias no mundo industrial. Como ponto de partida, e antes de iniciar o projeto em si, algumas considerações devem ser pensadas e tidas como obrigatórias ao longo da elaboração do trabalho propriamente dito. Alguns destes requisitos são:

- Garantir o máximo rendimento do processo

Um dos fatores mais importantes das indústrias de produção é a maximização do rendimento do processo. De uma maneira geral, havendo duas indústrias independentes, a que conseguir produzir uma maior quantidade de produtos a partir do mesmo volume de matéria-prima, conseguirá preços mais competitivos, ganhando uma vantagem em relação à concorrência. Para o fazer, a fábrica terá de ser projetada nesse sentido e otimizada durante a produção para reduzir ao máximo os desperdícios de matéria-prima. Uma forma de aumentar o rendimento, é o reaproveitamento dos

desperdícios, tanto para utilização da própria indústria, como para rentabilização através da sua venda. O objetivo máximo seria alcançar um regime em que os resíduos fossem percentagens vestigiais do volume de matéria-prima introduzida no processo.

- Assegurar boas condições de segurança

A segurança dos operadores, dos equipamentos e da fábrica em geral é um tópico que pode revelar-se preponderante nas tomadas de decisão. Garantir a integridade física dos operadores, que os equipamentos ao longo do processo estão salvaguardados e que existem sistemas de prevenção capazes de colmatar qualquer imprevisto, são considerações obrigatórias de qualquer projeto.

- Garantir uma boa manutenibilidade da indústria

Os desenvolvimentos das indústrias ao longo dos tempos tem revelado a importância da manutenção no sucesso das empresas de produção. Assegurar os acessos às zonas críticas dos equipamentos e optar por equipamentos cujas operações de manutenção sejam de fácil execução irá ter uma influência muito positiva na redução dos tempos não produtivos e no aumento do tempo médio de vida expectável dos equipamentos.

- Minimização de custos

Como dito na introdução deste trabalho, é na fase de projeto que a maior parcela do custo de produção de um dado produto vai ser definida. Nesta perspetiva, cabe ao projetista procurar reduzi-los à partida. No caso da trituração de cortiça, existem dois pontos fundamentais, ambos ligados à eficiência e consumo energético da fábrica, que serão mais do que uma vez abordados ao longo do trabalho:

- Transporte Pneumático

O transporte pneumático, apesar de extremamente eficaz no transporte de granulados, requer potências extremamente elevadas na geração dos fluxos de ar requeridos pelo sistema. Reduzir ao máximo o número e a dimensão das redes pneumáticas será uma mais valia para a fábrica.

- Consumo energético dos secadores

A obtenção de energia térmica para os secadores é dos principais gastos energéticos associados às triturações, de tal maneira, que o preço de compra da matéria-prima vai oscilar consoante o nível de humidade da cortiça. Procurar métodos alternativos de obtenção de energia térmica irá reduzir significativamente os custos associados.

- Considerar as necessidades do cliente final

O cliente final dos granulados tem também exigências no momento de aquisição da matéria-prima. Procurar ir ao seu encontro resulta num maior nível de satisfação do próprio, e como consequência, a uma probabilidade menor do cliente recorrer à concorrência.

Algumas das exigências mais comuns passam pela garantia de:

- Preço competitivo
- Qualidade do produto
- Cumprimento dos prazos
- Disponibilidade do produto

Um bom projeto irá apresentar soluções que contemplam estes pontos fulcrais e que, quando associado a um eficaz trabalho de gestão, conseguiram garantir a satisfação do cliente.

1.4 Produção

O processo tradicional de trituração de cortiça apresenta ao longo do tempo flutuações consideráveis no seu rendimento, sendo difícil definir um valor concreto de produção diária de granulados. Comparando o peso produzido com o valor total de entrada da cortiça, o rendimento de uma fábrica de granulados pode variar entre os 40 e os 60% consoante a matéria-prima, o ajuste dos parâmetros ou até as condições climáticas. Uma perspetiva mais realista será então projetar a indústria procurando garantir o processamento de uma quantidade predefinida de cortiça à entrada.

- Cortiça a processar

A indústria de trituração de cortiça, a nível de processo, apresenta poucas diferenças construtivas entre produzir pequenas ou grandes quantidades de granulados. O tipo de equipamentos a utilizar não se altera, variando apenas a sua dimensão. A diferença do valor comercial entre duas máquinas com o mesmo princípio de funcionamento não é proporcional à capacidade de processamento, sendo que ao fazer o *upgrade* para um equipamento com maior capacidade, o quociente entre o investimento necessário e o *output* possível tem a tendência a ser mais reduzido. Assim sendo, é benéfico produzir grandes quantidades à partida pois, apesar do maior investimento inicial, o retorno surgirá mais rapidamente.

Tendo em conta o período de funcionamento e as quantidades comuns de produção das indústrias tradicionais, estabeleceu-se como objetivo diário garantir uma capacidade de processamento de 50 toneladas de cortiça (aproximadamente 400 m³ de cortiça) com o intuito de produzir entre 25 e 30 toneladas de granulados.

1.5 Horário de funcionamento

Quanto ao horário de funcionamento da indústria, o projeto será desenvolvido tendo em mente a produção interrupta de granulados durante os 5 dias úteis da semana, começando às 00:00 de segunda-feira e terminando às 24:00 de sexta-feira. A fábrica funcionará então a três turnos diários ao nível do processo, e com um turno diário para os serviços administrativos e de gestão.

Tendo em conta eventuais imprevistos e situações extraordinárias, a fábrica será dimensionada para alcançar a produção diária ideal em 22 ao invés das 24 horas disponíveis.

2 Cortiça

A matéria-prima a processar na unidade industrial será a cortiça. Um dos primeiros passos em qualquer projeto é procurar conhecer o seu produto. Desta feita, é de extrema importância explorar a cortiça quanto à sua origem, às suas propriedades e às flutuações de qualidade que serão expectáveis na aquisição da matéria prima.

2.1 Origem e Características

A cortiça é a casca do sobreiro (*Quercus suber*). É um tecido vegetal 100% natural e é constituída por uma colmeia de células microscópicas que têm um gás idêntico ao ar no seu interior são revestidas sobretudo por suberina e lenhina. Tem uma abrangência de aplicações a atributos que nenhuma tecnologia conseguiu, até hoje, imitar, igualar ou ultrapassar. É uma matéria-prima 100% natural, 100% reutilizável e 100% reciclável extraída dos sobreiros (Figura 2.1) sem prejudicar o normal desenvolvimento da espécie e sem danificar a árvore (APCOR, 2018).



Figura 2.1 – Sobreiro descortiçado

Este material apresenta características únicas e têm um leque de aplicações elevado. A sua principal vantagem é de não necessitar de qualquer tipo de tratamento químico posterior a sua extração para obter as suas propriedades, sendo apenas cozida em água.

Apresenta características extremamente interessantes entre as quais:

- Baixa densidade – Sendo o ar cerca de 50% do volume da cortiça, a densidade do material é reduzida, variando entre os 160 e 260 kg/m³ na fase de extração.
- Impermeabilidade – A cortiça é impermeável a gases e a líquidos.
- Elasticidade – Suporta reduções de espessura até cerca de 50% sem sair do regime elástico e possui um coeficiente de Poisson muito baixo, deformando muito pouco nas faces não solicitadas.
- Capacidade isolamento térmico e acústico – Devido à sua baixa condutividade e características absorvedoras de vibração.

- Resistência ao fogo – É um retardador natural do fogo, libertando poucos gases tóxicos e não produzindo chama visível durante a combustão.

2.2 Indústria Corticeira

A indústria corticeira em Portugal surgiu em meados do século XIX, inicialmente com pequenas instalações dedicadas ao fabrico manual de rolhas cilíndricas, distribuídas especialmente no Sul do país. Após a 1ª Guerra Mundial, assistiu-se a um grande desenvolvimento da indústria corticeira, com um incremento que atingiu 10.000 operários por volta de 1930, o que contribuiu para que Portugal assegurasse a liderança da produção mundial de cortiça (Oliveira, 1991, cit. por Gil, 1998).

Atualmente, o nosso país mantém a liderança na produção de cortiça, apresentando uma produção média anual de cerca de 100 mil toneladas, que corresponde a 49,6% do total mundial, seguido de Espanha com 61,5 mil toneladas (30,5%) e de Marrocos com cerca de 12 mil toneladas (5,8%).

Apesar de ser o maior produtor de cortiça a nível mundial, o nosso país necessita de importar matéria-prima adicional para satisfazer as necessidades da produção de derivados de cortiça. O destino final desta matéria-prima é, na sua grande maioria a produção de rolhas, representando 71.66% do consumo nacional de cortiça. Desta percentagem, cerca de 43.87% destina-se à produção de rolhas naturais, e os restantes 27.79% à produção de rolhas aglomeradas, ou que envolvam outros processos de processamento. Outro grande polo industrial da indústria corticeira é a produção de revestimentos para a construção civil, representando 21.07% do consumo de cortiça nacional (APCOR – Anuario, 2015).

2.3 Extração da Cortiça

Apesar do esforço das indústrias corticeiras no desenvolvimento de maquinaria que facilite e otimize o descortiçamento, a estrutura naturalmente irregular dos ramos e tronco do sobreiro e a sensibilidade da árvore a cortes demasiado profundos faz com que a extração manual da cortiça seja o método mais comum (Figura 2.2 e Figura 2.3). Este método, por necessitar de um elevado número de operadores qualificados, é dos fatores que mais encarece a matéria-prima. Os operadores recorrem a machados com um formato que facilita a remoção da cortiça e a técnicas que permitem retirar placas semi-tubulares com as dimensões adequadas para os processos de produção de rolhas.

O sobreiro demora em média 25 anos a atingir dimensões que permitam a extração da cortiça sem causar danos à árvore. Após a fase de maturação é possível descorticar o sobreiro pela primeira vez (desbóia) obtendo cortiça de 1ª geração (cortiça virgem). Esta é caracterizada pela sua

textura extremamente rugosa e irregular, sendo aproveitada maioritariamente como matéria-prima para granulação e para produção de energia.

Um sobreiro leva cerca de 9 anos a desenvolver uma camada de cortiça com dimensões suficientes para rentabilizar a sua extração. Após este período retira-se a segunda camada de cortiça, denominada de cortiça secundeira, também com um formato irregular e utilizada para os mesmos fins que a cortiça virgem.

Ao longo da vida do sobreiro, a cortiça ganha uma forma mais regular e uma textura mais homogénea, tornando-se apta para a produção de rolhas. Esta cortiça apela-se de amadia e é a cortiça com mais valor comercial. Um sobreiro tem uma vida útil de cerca de 150 a 200 anos, sendo por isso possível retirar cortiça de alta qualidade cerca de 15 a 18 vezes por árvore.



Figura 2.2 – Descortiçamento de ramos (OLHAPIM, 2011) Figura 2.3 – Descortiçamento do tronco (PUBLICO, 2016)

2.4 Período de Repouso

Após o descortiçamento, as pranchas de cortiça são empilhadas ou na floresta ou em estaleiros dentro das instalações de uma fábrica. Aí permanecem expostas ao ar livre, ao sol e ao vento. As pilhas são formadas tendo em conta regras próprias definidas pelo Código Internacional de Práticas Rolheiras – CIPR, de forma a permitir a estabilização da matéria-prima. As pranchas devem ser empilhadas sobre materiais que não contaminem a cortiça e que evitem o seu contacto com o solo. (“APCOR – Descortiçamento,” 2017)

Estes cuidados devem-se maioritariamente ao desenvolvimento de TCA (Tricloroanisole), que tende a surgir em torno de fungos presentes na cortiça. Esta substância é bastante indesejável para a fabricação de rolhas por danificar as características dos vinhos, dando origem ao chamado “gosto a rolha”.

2.5 Matéria-prima para Trituração

As triturações, não necessitando de matéria-prima com um formato constante nem uniforme, tendem a aproveitar os desperdícios das restantes indústrias corticeiras. A indústria da trituração acaba por ser uma indústria recicladora dos restantes tipos de transformação de cortiça.

Assim sendo, as principais fontes de matéria-prima para os granulados são:

- Refugos cozido – Tiras de cortiça cozida que não tem espessura e/ou qualidade suficiente para a indústria de rolhas (Figura 2.4).
- Aparas especial – Sobras de painéis de cortiça utilizados para a produção de discos de cortiça para rolhas com aglomerado (Figura 2.5).
- Aparas de broca – Tiras de cortiça com o negativo da rolha proveniente da indústria de rolhas naturais (Figura 2.6).

Existem ainda outras fontes possíveis de matéria-prima que não foram referidas pois tomarão à partida um papel residual no volume total a triturar.



Figura 2.4 – Refugo cozido (Apolinário, 2017)

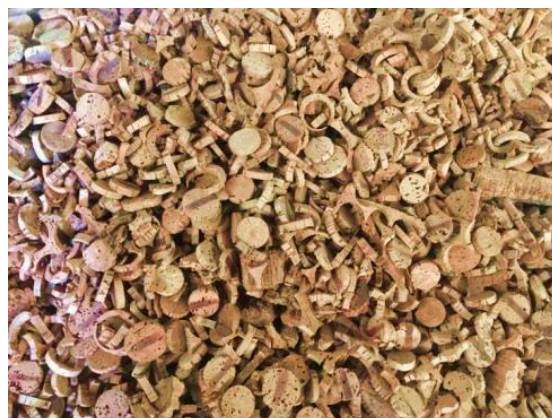


Figura 2.5 – Aparas especial (Apolinário, 2017)



Figura 2.6 – Aparas de broca (Koriumunique, 2014)

3 Teorias e Metodologias de Projeto

As várias tomadas de decisão ao longo da fase de projeto são de fundamental importância. Cabe ao projetista conseguir distinguir entre os vários cenários possíveis qual a opção que melhor se adequa ao problema que pretende resolver. Muitas vezes estas decisões são de carácter subjetivo e dúbio, não havendo uma resposta certa, existindo quase sempre constrangimentos, limitações ou até preferências por parte do cliente que irão dificultar a tomada de decisão.

Numa tentativa de criar critérios imparciais de decisão que garantam o melhor cenário possível para uma dada situação, foram desenvolvidas ao longo dos anos várias teorias e metodologias com o intuito de facilitar o trabalho do projetista, ao mesmo tempo que aumentam a qualidade global do projeto em questão.

Neste capítulo serão introduzidas a Teoria Axiomática de Projeto e a noção de *Design for Maintainability*, ambas teorias que serão utilizadas como critério diferenciador nas várias decisões que serão tomadas ao longo do trabalho.

3.1 Teoria Axiomática

Um axioma pode ser visto como uma afirmação irrefutável, mas que ao mesmo tempo não apresenta provas concretas da sua veracidade. Os axiomas funcionam um pouco como verdades universais cujas derivações permitem o desenvolvimento das bases do conhecimento. Um axioma apenas é válido se não existirem contraexemplos ou exceções associadas.

A Teoria Axiomática de Projeto (TA), da autoria do professor N. P. Suh do MIT, é uma teoria de projeto que se baseia em dois axiomas fundamentais, o axioma de independência e o axioma da informação.

- Axioma da Independência - Manter a Independência dos requisitos fundamentais
- Axioma da Informação – Minimizar o conteúdo de informação do projeto

A partir dos axiomas é possível obter teoremas e corolários que são consequências das verdades absolutas estabelecidas anteriormente (Suh, 1990).

3.1.1 Metodologia do Projeto Axiomático

A TA procura auxiliar o raciocínio do projetista através da divisão do pensamento em quatro domínios fundamentais:

- Domínio do cliente – onde se estabelecem as necessidades do cliente.
- Domínio funcional – onde se estabelecem os requisitos funcionais do sistema.
- Domínio físico – onde se definem os parâmetros de projeto.
- Domínio do processo – onde são definidas as variáveis de processo

Na fase embrionária do projeto, ao procurar responder à pergunta “o que se pretende?”, o projetista alcança os requisitos base procurados pelo cliente (*Costumer Needs* – CN). Por outras palavras, define-se o que será necessário que o produto ou serviço ofereça para que o cliente fique satisfeito com o resultado final.

Após a definição das características fundamentais do produto ou serviço, o projetista irá procurar responder à pergunta “como?”, e então definir os requisitos funcionais (*Functional Requirements* – FR). Os requisitos funcionais são um conjunto de características que irão caracterizar por completo o sistema a projetar e são definidos por termos e expressões correntes da engenharia.

Estando as características base definidas no domínio funcional, é necessário fazer a ponte entre o que se pretende projetar e “como?” se irá obter esse resultado. O domínio físico é onde a caracterização física do produto ou serviço começa a ganhar forma. Para cada requisito funcional surge um ou mais parâmetros de projeto (*Design Parameters* – DP) que irão satisfazer esse mesmo FR.

As variáveis de processo (*Process Variables* – PV) irão também responder à pergunta “como?” mas num contexto de processo de manufatura. São estas que irão definir como o produto será construído, os processos a utilizar, se necessitam de montagem, se são peças únicas, entre outras especificações.

O raciocínio axiomático baseia-se num avanço segmentado entre vários níveis para cada um dos domínios referidos anteriormente. Como é possível ver na Figura 3.1, o desenvolvimento das ideias é feito da esquerda para a direita, sendo que após estabelecida uma resposta para cada requisito, por exemplo a definição de um DP que satisfaça um FR, o projetista deverá retornar ao domínio anterior, neste caso o domínio funcional, e obter novos requisitos num nível inferior. Estes requisitos serão definidos com base nos DP do nível superior, criando um efeito em “zigzag” entre os vários domínios, possibilitando uma integração cuidada dos vários componentes e uma visão estruturada do projeto em geral. O efeito de “zigzag” tem uma especial importância em projetos com níveis de complexidade elevados.

No seguimento da formulação descrita, deverão ser estudados ambos os axiomas e verificada a sua compatibilidade com o projeto final. Primeiro procura-se que o projeto respeite o 1º axioma, sendo que o 2º axioma permite distinguir entre todas as boas soluções encontradas, qual o melhor projeto. Um projeto que esteja de acordo com os dois axiomas é sempre melhor do que um projeto que não os respeite.

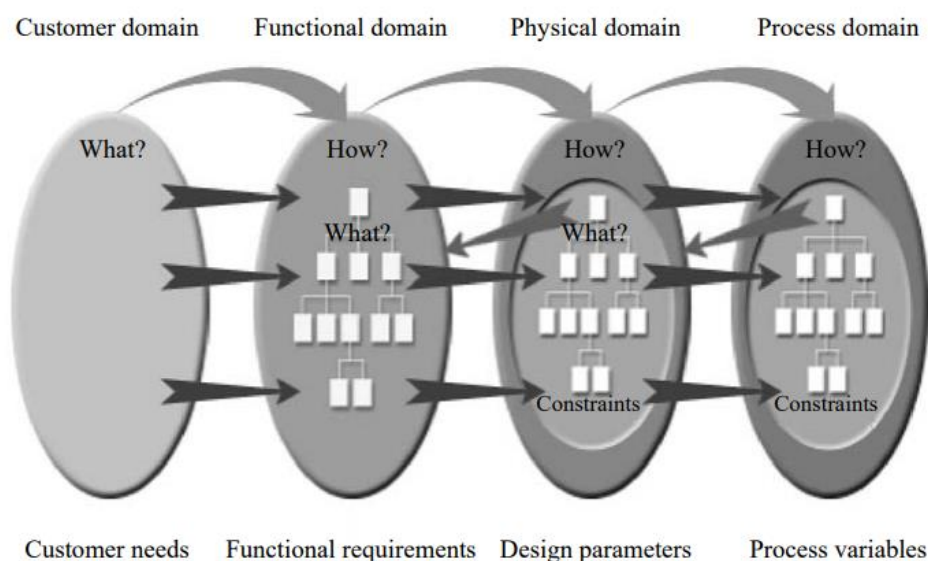


Figura 3.1 – Relações entre domínios axiomáticos (Suh, 2005)

3.1.2 Axioma da Independência

O axioma da independência procurar garantir que as várias parcelas ou componentes de um sistema não dependem uns dos outros. No fundo, dita que para garantir um projeto ideal, é necessário manter a independência dos requisitos funcionais.

Contudo, a independência total, embora desejada, é muitas vezes impossível de alcançar. Uma outra visão do axioma da independência é que, num projeto, os DPs e os FRs deverão estar definidos de maneira a ser possível ajustar os DPs para que um FR seja satisfeito, sem que este ajuste afete os restantes requisitos funcionais.

As relações entre os FRs e os DPs são definidas pelo projetista e são esquematicamente representadas através da matriz de projeto $[A]$, obtendo assim a equação 3.1.

$$\{FR_i\} = [A] \cdot \{DP_j\} \quad 3.1$$

Serão as características da matriz de projeto $[A]$ que irão determinar a satisfação do axioma da independência.

Partindo de um projeto arbitrário com três FR's com três DP's associados, a matriz $[A]$ seria uma matriz 3x3 como exemplificado na equação 3.2.

$$\begin{Bmatrix} FR1 \\ FR2 \\ FR3 \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} X & 0 & 0 \\ 0 & X & X \\ X & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} DP1 \\ DP2 \\ DP3 \end{Bmatrix} \quad 3.2$$

As relações entre FRs e DPs são complexas e variam bastante para cada caso concreto de aplicação da TA. Contudo, a forma matricial permite ao projetista perceber rapidamente que relações são críticas e que ajustes terá de fazer para garantir uma independência entre componentes. Dependendo

do tipo de matriz de projeto que surge após o preenchimento dos campos da equação, a distinção entre projeto desacoplado, desacoplável e acoplado, poderá ser feita.

Uma matriz diagonal caracteriza um projeto desacoplado e está de acordo com o axioma da independência.

Uma matriz triangular caracteriza um projeto desacoplável, cuja satisfação dos FR's é dependente de mais do que um DP. Contudo, se os DP forem definidos segundo uma sequência lógica, o projeto poderá respeitar o axioma.

Por último surge uma matriz que não é nem triangular nem diagonal. Esta caracteriza um projeto acoplado e por isso não respeita o axioma da independência.

A Tabela 3.1 demonstra exemplos das configurações possíveis da matriz de projeto com 3 FR's e 3 DP's.

Tabela 3.1 – Os três tipos de projeto quanto à satisfação do Axioma da Independência (Park, 2007)

	Design equation	Design process
Uncoupled design	$\begin{bmatrix} FR_1 \\ FR_2 \\ FR_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A_{11} & 0 & 0 \\ 0 & A_{22} & 0 \\ 0 & 0 & A_{33} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} DP_1 \\ DP_2 \\ DP_3 \end{bmatrix}$	$FR_1 = A_{11} \times DP_1$ $FR_2 = A_{22} \times DP_2$ $FR_3 = A_{33} \times DP_3$
Decoupled design	$\begin{bmatrix} FR_1 \\ FR_2 \\ FR_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A_{11} & 0 & 0 \\ A_{21} & A_{22} & 0 \\ A_{31} & A_{32} & A_{33} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} DP_1 \\ DP_2 \\ DP_3 \end{bmatrix}$	$FR_1 = A_{11} \times DP_1$ $FR_2 = A_{21} \times DP_1 + A_{22} \times DP_2$ $FR_3 = A_{31} \times DP_1 + A_{32} \times DP_2 + A_{33} \times DP_3$
Coupled design	$\begin{bmatrix} FR_1 \\ FR_2 \\ FR_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A_{11} & A_{12} & A_{13} \\ A_{21} & A_{22} & A_{23} \\ A_{31} & A_{32} & A_{33} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} DP_1 \\ DP_2 \\ DP_3 \end{bmatrix}$	$FR_1 = A_{11} \times DP_1 + A_{12} \times DP_2 + A_{13} \times DP_3$ $FR_2 = A_{21} \times DP_1 + A_{22} \times DP_2 + A_{23} \times DP_3$ $FR_3 = A_{31} \times DP_1 + A_{32} \times DP_2 + A_{33} \times DP_3$

3.1.3 Axioma da Informação

Primeiramente o projeto axiomático exige a satisfação do axioma da independência, mas por vezes existem múltiplos projetos que cumprem este requisito. Neste caso, recorre-se ao axioma da informação para identificar qual destes é o melhor.

O conceito de informação na TA não é sinónimo do utilizado na língua portuguesa. Na axiomática, a quantidade de informação está relacionada com a complexidade do projeto, e tem uma ligação direta com a probabilidade de sucesso de um sistema em concreto. O valor quantitativo da

informação é dado pela equação 3.3, sendo que “ p ” é a probabilidade de satisfação de um dado FR através de um DP a este associado.

$$I = \log_2 \left(\frac{1}{p} \right) \quad 3.3$$

Para projetos com “ n ” DP’s, o conteúdo de informação obtém-se somando os valores associados à informação de cada DP como demonstrado na equação 3.4. O melhor projeto é o que apresenta um menor conteúdo de informação.

$$I = \sum_{i=1}^n I_i = \log_2 \left(\frac{1}{p_i} \right) \quad 3.4$$

3.1.4 Teoremas

No caso da Axiomática, os teoremas são verdades obtidas através de demonstrações que partem da aplicação dos dois Axiomas. Ao longo deste trabalho recorre-se a alguns deles, em particular:

- Teorema 1 - Acoplamento devido a número insuficiente de DP’s

Quando o número de DPs é inferior ao de FRs, ou se trata de um projeto acoplado ou não é garantida a satisfação dos FRs.

- Teorema 4 – Projeto Ideal

Num projeto ideal, o número de DPs é igual ao número de FRs e este são independentes entre si.

- Teorema 5 - Necessidade de um projeto alternativo

Quando a um grupo de FRs é alterado através da adição de um FR, pela substituição de um por outro novo, ou pela seleção de novos FRs, a solução para a sua satisfação será diferente da obtida através dos DPs originais, criando a necessidade de procurar uma nova solução.

- Teorema 15 - Repensar o processo de manufatura

Quando o processo de manufatura compromete a independência dos FRs de um dado produto, o projeto deverá ser modificado ou deverá recorrer-se a um projeto alternativo para que a independência dos FRs do produto seja assegurada.

- Teorema 18 – Existência de uma alternativa desacoplada ou desacoplável-

Existe sempre uma solução desacoplada ou desacoplável que apresenta um conteúdo de informação inferior a uma solução acoplada.

- Teorema 24 – Agendamento de tarefas otimizado

Antes de serem definidos os timings das etapas do processo ou de componentes robotizados, deverão ser introduzidos desacopladores no projeto de modo a satisfazer o Axioma da Independência. Estes desacopladores poderão ser filas de espera, separação por vários *hardwares* ou *buffers*.

(Suh, 2005, traduzido pelo autor)

A totalidade dos Teoremas são apresentados no Anexo I.

3.2 *Design for Maintainability*

O *Design for Maintainability* é uma filosofia de projeto que visa a definição das características de um qualquer equipamento ou sistema tendo em conta a sua futura manutenção. Procura garantir que independentemente do seu formato, posição ou localização, as operações de manutenção dos equipamentos projetados sejam de rápida execução, e que se desenrolem em locais de fácil acesso para o operador (

Figura 3.2).

Esta teoria guia o projetista através de um conjunto de boas práticas e recomendações que este deverá ter em consideração aquando da definição das variáveis de projeto. Estas ideias e sugestões são baseadas em documentos escritos por profissionais com vários anos de experiência e visam tópicos recorrentes no mundo industrial, procurando aumentar a manutenibilidade dos equipamentos.

De uma forma resumida, esta filosofia defende que todos os projetos devem ter em mente a simplificação do produto, evitando sistemas desnecessariamente complexos, e, quando possível, que estes estejam subdivididos em módulos que permitam a substituição de partes singulares ao invés da substituição total do componente.

Incide fortemente na utilização de peças normalizadas segundo as normas mais comuns, tais como a ISO, DIN, ANSI ou AISI, reduzindo os custos associados à compra de componentes de substituição e assegurando o uso de ferramentas comuns a este tipo de peças.

Um dos pilares fundamentais desta teoria é a priorização da facilidade de acesso aos componentes que requeiram manutenção (particularmente dos que tem um tempo médio de vida mais reduzido) procurando localizá-los em zonas desobstruídas tanto para o operador como para a manobrabilidade das ferramentas de trabalho.

No seguimento dos tópicos anteriores, as restantes recomendações do *design for maintainability* são maioritariamente relacionadas com a facilidade no diagnóstico de falhas e respetivas origens e com a facilidade do operador de identificar defeitos no processo através de mecanismos de aviso tais como iluminação de emergência ou alarmes.

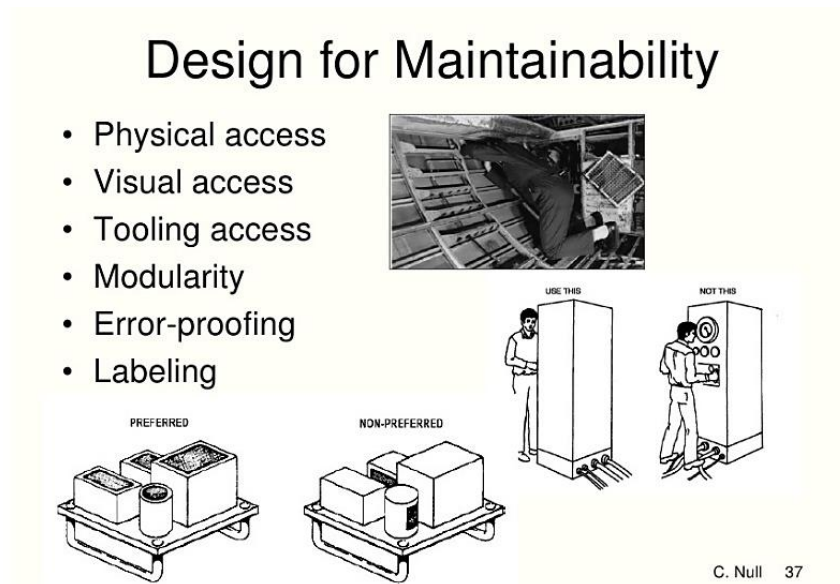


Figura 3.2 – Princípios da teoria “*Design for Maintainability*” (NASA, 2008)

Por último insiste numa identificação de todos os componentes e processos encontrados nos equipamentos através de um processo simples de numeração em que, utilizando etiquetas, o componente é facilmente reconhecido e substituído em caso de falha, organizando e otimizando as operações de manutenção. (adaptado de NASA, 2018)

4 Processo de Trituração Tradicional

Neste capítulo é feito um resumo do estado atual da indústria tradicional de trituração de cortiça, seguido de uma caracterização de cada uma das operações que constituem o processo.

4.1 Indústria Tradicional

O processo de trituração tem como objetivo final a produção de granulados de cortiça (Figura 4.1) com diferentes granulometrias e pesos específicos. De um modo geral, é um processo relativamente simples que não apresenta muitas variações de empresa para empresa, sendo a sua base praticamente constante.



Figura 4.1 – Granulado de cortiça (Pecheur, 2016)

Como foi dito anteriormente, a cortiça a utilizar no processo pode variar em formato e em qualidade, sendo usualmente armazenada junto da linha de alimentação da fábrica, preferencialmente num ambiente fechado e sem grandes flutuações de humidade.

A cortiça é transportada para um *buffer* que alimenta o moinho de trituração primário. Nesta fase a cortiça é triturada em pedaços de dimensões inferiores (*Broken*) que são conduzidos para um secador que tem como função regular os níveis de humidade da matéria-prima.

Com os níveis de humidade da cortiça corrigidos, procede-se a uma peneiração dos granulados, que são por sua vez guiados para a segunda fase de trituração. Esta fase procura alcançar as dimensões de grão finais do processo. Numa unidade fabril de trituração habitual, poderão haver várias linhas de peneiramento e trituração a trabalhar em paralelo.

O transporte da cortiça granulada entre as várias fases constituintes do processo é feito através de redes de transporte pneumático.

Quando os níveis de humidade dos granulados estão de acordo com as exigências predeterminadas, e as dimensões dos grãos definidas, há a necessidade de separar os produtos de acordo com o seu peso específico. Para tal recorrem-se geralmente a mesas densimétricas.

Na fase final do processo a cortiça é normalmente embalada em “*Big bags*”, pronta para ser transportada para o cliente, ou armazenada em silos.

No seguinte fluxograma (Figura 4.2) podemos observar o processo industrial típico de uma instalação industrial de trituração.

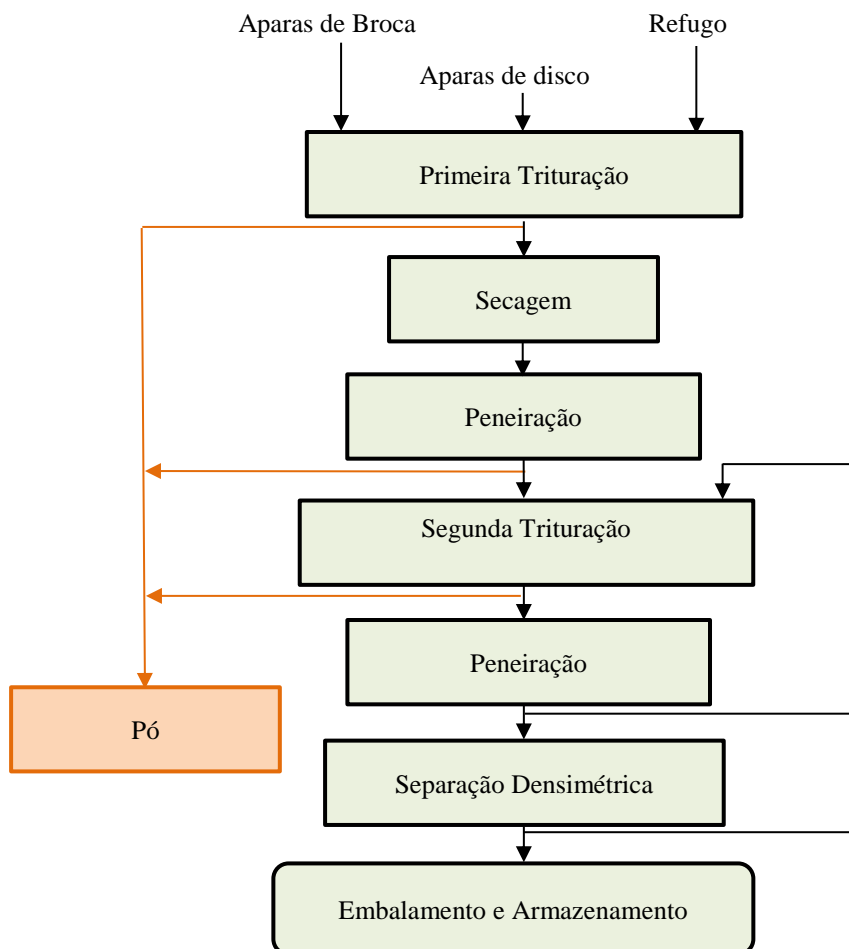


Figura 4.2 – Processo típico de uma indústria de trituração de cortiça

4.2 Alimentação da Matéria-prima

A primeira fase do processo de trituração de cortiça consiste na introdução de matéria prima nos alimentadores dos moinhos trituradores.

Aquando da chegada às instalações da fábrica, a cortiça é por norma armazenada em terrenos baldios, em espaços pavimentados descobertos ou em naves de construção metálica. Os espaços a céu aberto são utilizados maioritariamente para as pranchas de refugo devido ao volume que estas ocupam. As aparas de disco e de broca, caracterizadas por terem uma *bulk density* inferior e sendo material já processado e por sua vez mais limpo, são por norma armazenadas em espaços com cobertura.

Na industrial tradicional, são utilizados camiões e sobretudo pás carregadoras para efetuar o transporte da cortiça destes locais de armazenamento para as proximidades do primeiro triturador.

É comum existir um espaço de armazenamento para a acumulação de matéria-prima junto ao triturador com o objetivo de rapidamente colmatar quaisquer faltas de determinado tipo de cortiça. Deste armazém, poderão ser utilizadas mini-pás carregadoras (Figura 4.3) ou novamente pás carregadoras (Figura 4.4) para o transporte final para os moinhos trituradores.



Figura 4.3 – Mini pá carregadora (STET, 2018a)



Figura 4.4 – Pá carregadora (STET, 2018b)

4.3 Primeira Fase de Trituração

A primeira fase de trituração é responsável pela transformação da matéria-prima em broken, nome atribuído aos granulados de cortiça com dimensões compreendidas entre os 20 e os 50 milímetros.

A cortiça apresenta propriedades físicas que irão exigir bastante dos equipamentos que as vão processar, para além disso, as aparas de broca e as pranchas de refugo apresentam-se como um desafio na trituração devido à sua dimensão considerável e à sua geometria irregular. É por isso necessário nesta fase recorrer a potências elevadas e à utilização do que é comumente apelado de maquinaria pesada.

Apresentam-se de seguida os três tipos de moinhos trituradores mais comuns de encontrar na indústria tradicional:

4.3.1 Moinhos de martelos

Os moinhos de martelos são um tipo de triturador utilizado em várias indústrias de trituração, podendo processar quase todo o tipo de materiais. Destacam-se a cortiça, a madeira, rochas e minérios. A trituração é feita através de martelos fixos num veio motor dotado de velocidade angular. O impacto dos martelos em alta rotação irá fracionar a matéria-prima em vários pedaços de dimensões inferiores. Este tipo de moinho tem como principal vantagem a sua elevada capacidade de produção, os baixos custos de manutenção.

Um exemplo de um moinho de martelos utilizado na indústria corticeira pode ser encontrado na Figura 4.5, comercializado pela empresa TEQUIMAQ.

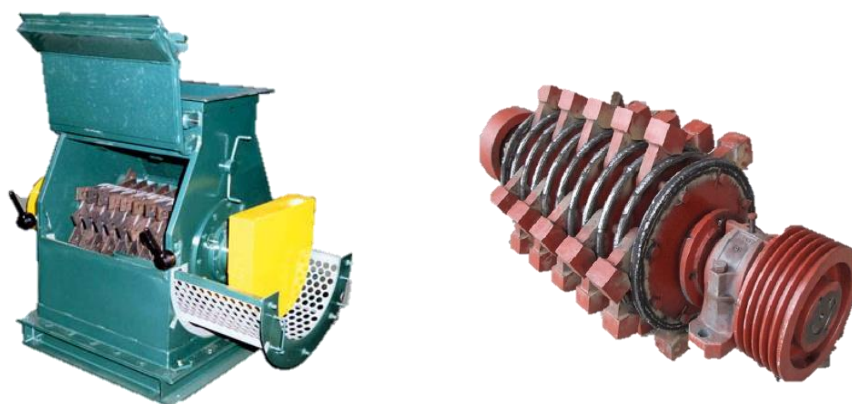


Figura 4.5 – Moinho de martelos e pormenor dos martelos de corte (TEQUIMAQ, 2018)

4.3.2 Moinhos de estrelas

Os moinhos de estrelas, tal como os moinhos de martelos têm uma aplicabilidade muito variada, e podem ser encontrados em muitos tipos diferentes de indústria.

Funcionam através da rotação em sentidos opostos de dois veios dentados, cujo movimento rotativo irá cortar as placas e as aparas de cortiça em tiras de pequenas dimensões. O comprimento e largura destas tiras depende das características dos veios utilizados. Existem variantes com 2 veios ou com 4 veios para aplicações mais exigentes.

Este tipo de trituradores é particularmente eficaz na trituração de pranchas de cortiça, visto que estas são puxadas e guiadas contra os dentes da máquina devido às propriedades geométricas do equipamento.

Um exemplo de um moinho de estrelas utilizado na indústria corticeira pode ser encontrado na Figura 4.6, comercializado também pela empresa TEQUIMAQ.

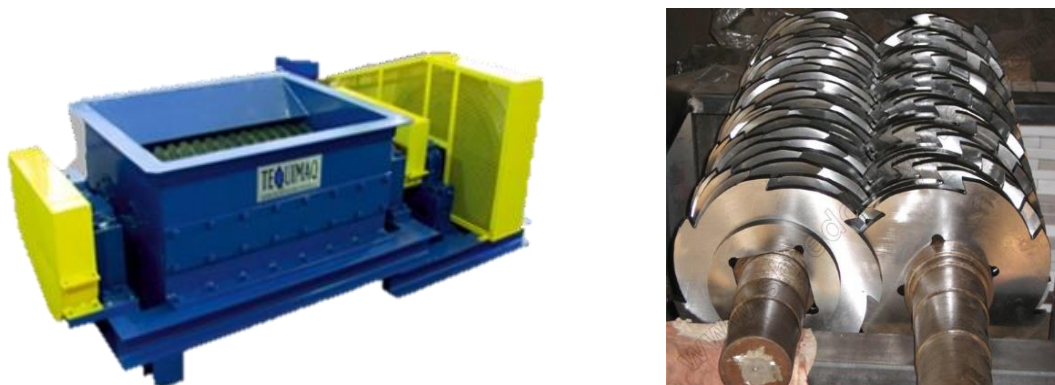


Figura 4.6 – Triturador de estrelas e respetivos veios dentados (TEQUIMAQ, 2018)

4.3.3 Moinhos de facas

Os moinhos de facas são equipamentos extremamente versáteis e com algumas semelhanças com os moinhos de estrelas. O seu funcionamento baseia-se também na rotação de um rotor dentado, mas ao invés da rotação de um segundo veio, baseiam-se na construção de uma placa de contra-facas que irá cortar da matéria-prima.

Estes equipamentos apresentam a vantagem de as facas poderem ser trocadas regularmente ou afiadas, garantindo eficiências de corte superiores. Tem por norma associado um pilão que força os materiais contra o veio rotativo.

Um exemplo de um moinho de facas pode ser encontrado na Figura 4.7 Figura 4.6, comercializado pela empresa EUROPE-SHREDDERS.



Figura 4.7 – Triturador de facas e respetivas lâminas de corte (EUROPESHREDDERS, 2018)

4.3.4 Pré-trituradores

As placas de cortiça podem por vezes criar entupimentos nos trituradores. Estes entupimentos são por vezes difíceis de identificar pois as vibrações dos moinhos promovem um movimento da cortiça que corresponde ao normal funcionamento das máquinas. Estes entupimentos levam a faltas de matéria-prima a jusante sem que os operadores estejam cientes da situação.

Apesar de não ser uma prática extremamente comum, algumas fábricas estão dotadas de trituradores com a finalidade de reduzir o tamanho das pranchas de cortiça. Estes partem as placas em pequenas secções de 15 a 20 centímetros. A cortiça já partida será então guiada para os trituradores descritos acima.

4.4 Secagem

A cortiça no seu estado natural apresenta grandes flutuações nos seus níveis de humidade relativa. Esta característica varia de tal maneira que ao longo dos tempos os produtores de derivados de cortiça desenvolveram algoritmos que relacionam o peso da matéria-prima em bruto com peso efetivo dos granulados que se irão obter a partir do material seco. Para além disso, também consideram o custo da energia necessária para extrair o excesso de água da cortiça. Estes algoritmos são aplicados com base em medições de humidade no momento de aquisição e fazem oscilar o preço de aquisição da matéria-prima.

Outra consideração importante é o facto de que uma percentagem de humidade elevada dotar a cortiça de um comportamento esponjoso e criar a tendência de formar grumos que irão rapidamente desgastar os moinhos trituradores, reduzindo o tempo entre manutenções. Por outro lado, se o material estiver excessivamente seco irá produzir muito pó e reduzir a capacidade produtiva. Pode-se concluir que os níveis de humidade vão influenciar diretamente a eficiência da trituração.

Existe ainda o facto de que muitas das indústrias que irão adquirir os granulados terem intervalos limite de variação de humidade para os seus processos. Não havendo um respeito por tais intervalos, as variações na matéria-prima poderão levar a um lote de produção defeituoso e a um cliente insatisfeito. Um exemplo de uma área extremamente dependente da humidade é a indústria de produção de aglomerados com recurso a aglomerantes, onde a percentagem de humidade irá ditar uma melhor ou pior adesão ao material ligante.

O processo de secagem tem então uma importância considerável na rentabilização da cortiça e é das operações mais cruciais na obtenção de produtos de qualidade.

4.4.1 Período de repouso

A primeira fase de secagem começa no momento em que a cortiça é descarregada nos locais de armazenamento. Após a leitura dos níveis de humidade, a cortiça é direcionada para as zonas de descarga. Estas zonas são por norma espaços amplos e abertos que permitem a passagem do vento e o contacto da matéria-prima com o ar circundante. Como a maioria das instalações se localizam em regiões geográficas caracterizadas por climas amenos e com pouca humidade, a cortiça terá a tendência para secar durante o período de repouso. No caso das pranchas de refugo, são muitas vezes armazenadas sem qualquer tipo de cobertura para que a incidência dos raios solares acelere este processo. Qualquer percentagem em excesso de humidade que seja retirada antes da introdução da cortiça no processo resulta numa poupança energética.

Acontece por vezes, maioritariamente no pico do verão, que a cortiça esteja demasiado exposta e acabe por se apresentar demasiado seca à entrada do processo, sendo por vezes molhada para evitar a produção excessiva de pó.

4.4.2 Secador de tambor

O método mais comum de secagem da cortiça é através de secadores de tambor. Estes equipamentos caracterizam-se pela sua carcaça cilíndrica em rotação, por onde flui o material. A secagem propriamente dita é assegurada pela passagem de ar quente em contracorrente com o fluxo de cortiça. Os fatores responsáveis pela secagem são, a inclinação e a velocidade de rotação do tambor, a temperatura e a velocidade de circulação do ar no interior do secador.

A cortiça ainda húmida, flui pelo cilindro rotativo devido à inclinação da estrutura de suporte e, recorrendo a pequenas pás fixas nas paredes do secador, o material é forçado a movimentar-se ao longo do perímetro do tambor, caindo por gravidade quando se aproxima do topo (Figura 4.8). Este movimento vai separar os grãos e aumentar a área de contacto com o ar quente, aumentando também a eficiência da secagem. Os granulados realizam várias voltas ao longo do comprimento do tambor, para assegurar a secagem requerida.



Figura 4.8 – Fluxo de cortiça no tambor



Figura 4.9 – Secador de tambor

4.4.3 Fontes de calor

O ar quente utilizado nos tambores é por norma obtido através da queima de combustíveis. As fornalhas poderão funcionar com recurso a madeira ou outros tipos de matéria-orgânica, podendo também recorrer a combustíveis fósseis, tal como o gás natural, para o aquecimento do ar. Algumas indústrias aproveitam o pó de cortiça recolhido ao longo do processo como combustível.

4.4.4 Controlo da humidade

De modo a ajustar os parâmetros de entrada do ar no secador (temperatura e fluxo de ar), é necessário verificar os níveis de humidade dos granulados. Para o fazer, recorre-se a um método de controlo que consiste na secagem total de um volume de controlo pré-definido de cortiça (tipicamente 1 dm³). São utilizados pequenos secadores de laboratório que permitem obter percentagens de humidade próxima de 0% e, através da comparação do peso inicial com o peso após secagem, é calculada a percentagem de humidade à saída do secador. Consoante este valor, o operador poderá ajustar o secador para as condições ótimas de funcionamento.

4.5 Primeira Peneiração

Após a secagem do *broken*, recorre-se a uma segunda fase de trituração para obter as granulometrias finais. O tamanho dos grãos à entrada dos moinhos tem uma grande influência na definição dos parâmetros dos próprios. A dimensão dos grãos irá ditar a velocidade de rotação ideal dos equipamentos, sendo que um conhecimento prévio das características da cortiça à entrada permite alcançar taxas de produção de pó significativamente mais reduzidas. Assim sendo, as dimensões à entrada dos trituradores vão influenciar diretamente o rendimento total das unidades industriais. Dada a cadência de produção normalmente requerida e o nível elevado de exigência nos moinhos, não é viável na maioria dos casos recorrer a um só moinho triturador. Havendo a necessidade de pelo menos dois moinhos, é considerado uma mais valia fazer uma divisão dimensional prévia à entrada da matéria-prima em cada um dos equipamentos, permitindo ajustar as velocidades de forma a reduzir a produção de pó.

4.5.1 Peneiros vibratórios

A separação da cortiça por tamanhos é feita através de peneiros vibratórios. Estes equipamentos são compostos por um conjunto de várias malhas, normalmente metálicas, e por um sistema de vibração associado à estrutura que as suporta. Estas máquinas podem ter entre 1 a 6 malhas, variando a dimensão das aberturas entre cada nível (Figura 4.10).

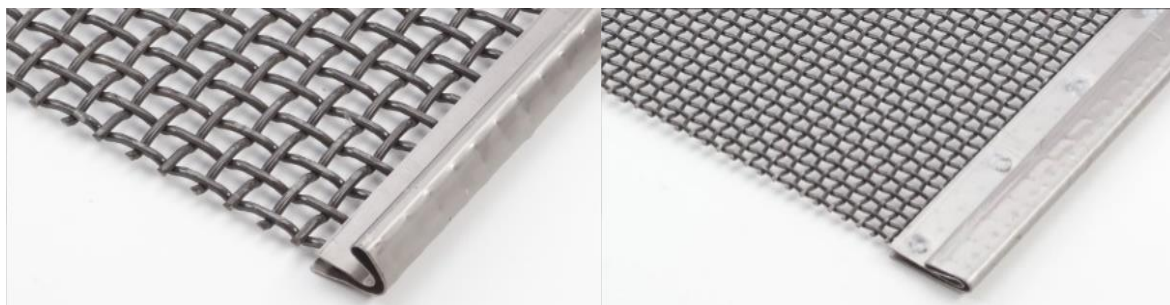


Figura 4.10 – Malhas para diferentes dimensões (PRODUTIVA, 2018)

A vibração irá distribuir os grãos ao longo da largura do equipamento, promovendo a queda por gravidade do primeiro nível para os adjacentes. Dada a inclinação da estrutura, quando uma partícula tem dimensões superiores às da malha em que se encontra, desloca-se ao longo do comprimento do peneiro até ao bocal de saída.

A principal força motriz da cortiça, responsável pela separação e pelo movimento da cortiça, é a força gravítica, fazendo destes equipamentos máquinas extremamente eficientes a nível energético.

Um exemplo de um peneiro vibratório utilizado na indústria corticeira pode ser encontrado na Figura 4.11, comercializado pela empresa TEQUIMAQ.



Figura 4.11 – Peneiro vibratório (TEQUIMAQ, 2018)

4.6 Segunda Fase de Trituração

Na segunda fase de trituração serão definidas as dimensões e o formato dos granulados a produzir.

Ao contrário da primeira fase, a matéria-prima à entrada dos moinhos terá uma natureza mais uniforme e irá apresentar flutuações dimensionais menores. Para além disso, muitas das impurezas originalmente incrustadas na cortiça já foram retiradas na primeira trituração. Estes fatores associados à separação dimensional apresentada no subcapítulo anterior (subcapítulo 4.5), que irá limitar a um intervalo bem definido o tamanho dos grãos a tritar, faz da segunda fase de trituração uma operação que não exige equipamentos tão robustos nem com tanta capacidade como os moinhos primários. Seguem-se dois exemplos de moinhos habitualmente utilizados na segunda fase de trituração da cortiça

4.6.1 Mós

A utilização de mós para a redução de materiais em granulados mais finos é uma tecnologia existente há milhares de anos. Na indústria corticeira é possível encontrar a ideologia destas máquinas maioritariamente utilizada nos moinhos finais de reprocessamento da cortiça proveniente das mesas densimétricas. O princípio de funcionamento é a rotação de um disco metálico ou cerâmico sobre outro, ambos dotados de sulcos e estrias que irão através da fricção dividir os grãos em frações mais reduzidas.

4.6.2 Moinho centrífugo

Os moinhos centrífugos, também apelidados de moinhos universais, são trituradores que se baseiam na rotação de um rotor que têm no seu perímetro exterior lâminas de corte. Estas lâminas irão varrer a superfície perfurada de um crivo. A matéria-prima, devido ao impacto com o rotor em rotação, é forçada contra o crivo, onde as lâminas a irão cortar em frações mais pequenas. Quando as dimensões destas frações forem inferiores ao diâmetro dos furos do crivo, o material sai da câmara de corte, obtendo-se assim o produto final. Um exemplo de um moinho deste tipo utilizado na indústria corticeira pode ser encontrado na Figura 4.12, comercializado pela empresa TEQUIMAQ.

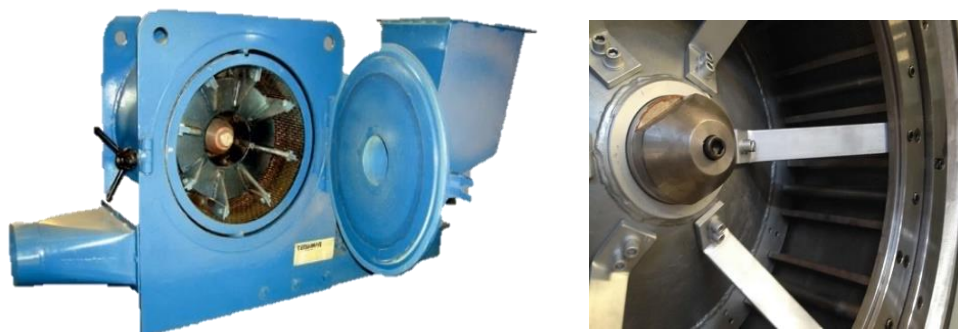


Figura 4.12 – Moinho centrífugo ou universal e detalhe das facas de corte (TEQUIMAQ, 2018)

4.7 Segunda Peneiração

A segunda fase de peneiração tem como objetivo separar as diferentes granulometrias a produzir. Esta separação surge nesta fase do processo mediante a necessidade de assegurar dimensões de grão relativamente constantes nas mesas de separação densimétrica.

Nas triturações atuais a separação dos diferentes tamanhos de grãos de cortiça é feita através de aparelhos idênticos aos utilizados na primeira fase de peneiração (subcapítulo 4.5.1), ou recorrendo a *Rotexes*.

4.7.1 *Rotexes*

Os *Rotexes* (

Figura 4.13) consistem numa estrutura metálica apoiada num volante rotativo que irá dotar uma das extremidades da estrutura com movimento circular. Desta característica resulta numa variação da aceleração imposta nas partículas ao longo do aparelho.

Na zona de alimentação (identificado com o número 1 na imagem) da cortiça, os movimentos destes equipamentos são praticamente circulares, espalhando o material por toda a largura das malhas de separação dos granulados.

Na zona central (número 2) o movimento será próximo de uma elipse, proporcionando um transporte ao longo do comprimento das máquinas e uma capacidade de separação superior à da primeira zona de separação.

Por último, e junto aos bocais de saída (número3), o movimento é praticamente linear, maximizando a eficiência da separação, separando as partículas com dimensões muito idênticas às das aberturas das malhas.

São máquinas compostas por vários níveis separados por malhas com diferentes dimensões que irão definir o número de intervalos a separar. Os *Rotexes* destacam-se pela sua elevada eficiência de separação.

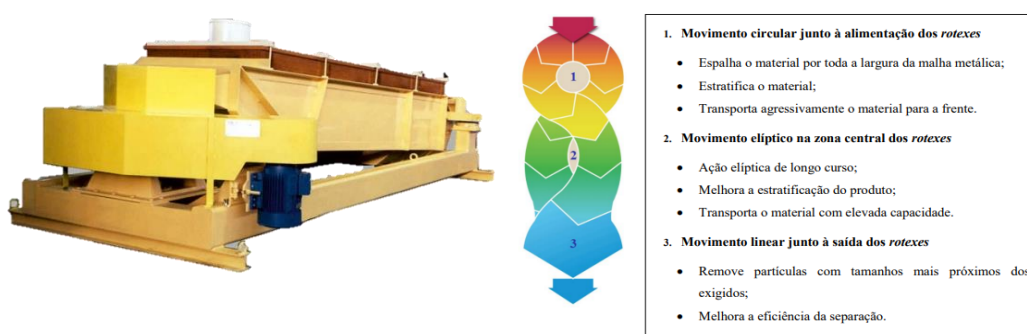


Figura 4.13 – *Rotex* (TEQUIMAQ, 2018) e respetivo esquema de funcionamento (Ferreira, 2017)

4.7.2 Intervalos granulométricos

À saída dos *Rotexes*, os intervalos dimensionais estão definidos e prontos a seguirem para a fase seguinte do processo. As dimensões mais comuns de encontrar, bem como o destino final de cada granulometria são apresentados na Tabela 4.1:

Tabela 4.1 – Intervalos granulométricos tradicionais

Intervalo granulométrico	Destino
< 0.5	Removido do processo e armazenado nos silos de pó
0.5 - 1	Ensaque
1 - 2	
2 - 3	
3 - 5	
5 - 7	
> 7	Nova trituração para obter dimensões inferiores

4.8 Separação Densimétrica

A cortiça, sendo um material natural, apresenta grande variabilidade na sua qualidade, sendo esta influenciada pelas condições climáticas, pela região onde é produzida e por toda a operação desde que é extraída até à entrada nos trituradores.

Uma das variáveis que mais influência tem na qualidade final dos produtos e, por conseguinte, no preço de venda dos próprios, é o seu peso específico. Este é muito influenciado pela quantidade de impurezas presentes no material. Estas impurezas podem ser pequenos pedaços de madeira, pedras ou terras incrustadas na estrutura da cortiça.

Tanto a madeira como as pequenas pedras acabam por se soltar da cortiça nos processos de trituração inicial ou de separação e são removidas com alguma facilidade. As terras e poeiras, no entanto, são praticamente impossíveis de eliminar por completo. A sua presença irá aumentar consideravelmente a massa volúmica dos granulados e terá uma influência na cor dos próprios. Quando mais impurezas, mais pesados e mais escuros serão os grãos de cortiça, sendo menos valiosos.

De maneira a rentabilizar a cortiça, grupos de densidade foram estabelecidos para corresponder às necessidades e exigências dos clientes. Podem ser definidos de uma maneira geral três grupos distintos, exemplificados na Figura 4.14 respetivamente:

1. Granulado de baixa densidade, inferior 65 kg/m^3
2. Granulado de média densidade, entre 65 e 95 kg/m^3
3. Granulado de alta densidade, superior a 95 kg/m^3



Figura 4.14 – Diferentes grupos de densidade (Ferreira, 2017)

4.8.1 Mesas densimétricas

As mesas densimétricas (Figura 4.15) são utilizadas para separar o fluxo de granulados proveniente dos peneiros nos diferentes grupos de densidade. São também apeladas de mesas gravíticas pois a força da gravidade é uma das principais forças motrizes da separação.

O seu funcionamento baseia-se na utilização de um motor elétrico associado a um mecanismo excêntrico que fará os granulados deslocarem-se no sentido ascendente de um tabuleiro inclinado. Através de um fluxo de ar, os granulados fluidizam, sendo que os materiais mais leves irão deslizar sobre a camada de materiais pesados graças à inclinação do tabuleiro, deslocando-se para os respetivos bocais de saída na zona final da mesa. Os materiais mais pesados, não tendo a mesma sensibilidade ao fluxo de ar, serão transportados graças a vibração no sentido dos bocais

situados na parte inicial do equipamento. Quanto maiores forem as dimensões da mesa, maior de uma maneira geral, é a eficiência do equipamento.

Uma distribuição volumétrica relativamente constante dos granulados é importante para o bom funcionamento do processo de separação pois grãos com dimensões diferentes serão separados por peso e não através das diferenças de densidade.

Um exemplo de uma mesa densimétrica utilizada na indústria corticeira pode ser encontrado na Figura 4.16, produzido pela empresa TEQUIMAQ.



Figura 4.15 – Mesa densimétrica (TEQUIMAQ, 2018)



Figura 4.16 – Aplicação na indústria corticeira (LEILOSOC, 2018)

4.9 Recirculação da cortiça

A sistema de recirculação da cortiça tem como objetivo final triturar grãos cujas especificações não vão ao encontro com as necessidades do cliente. Estes grãos podem ter sido rejeitados ao longo do processo por duas razões principais:

- Dimensão excessiva

A cortiça, após a segunda trituração, pode apresentar valores superiores aos pretendidos pelos clientes. Esta cortiça quando chega à segunda fase de peneiração é retirada do processo através dos *rotexes* e é então pneumáticamente levada para os trituradores que a irão fragmentar em pedaços com dimensões mais reduzidas. Após a trituração é novamente levada pneumáticamente para a segunda fase de peneiração e segue para o restante processo.

- Massa volúmica demasiado elevada

Quando a qualidade da cortiça é inferior, esta apresenta uma quantidade muito grande de impurezas que a vão dotar de um peso específico excessivamente alto. Esta cortiça tem um valor comercial muito baixo, sendo por isso preferível introduzi-la num processo de trituração adicional com o intuito de retirar do interior do grão rejeitado eventuais frações de cortiça mais limpas que possam ser aproveitadas como produto final. A separação destes grãos é feita nas mesas densimétricas e representa a grande maioria da cortiça que será recirculada.

Após a trituração, estes granulados são levados novamente para a segunda fase de peneiração e novamente separados densimetricamente. Se continuarem a ser rejeitados pelas mesas densimétricas, os grãos serão recirculados até eventualmente serem retirados como pó pelos ciclones ou pela mesa densimétrica encarregue dos granulados mais finos.

4.10 Transporte dos Granulados

O transporte de uma prancha de cortiça não poderá ser feito, à partida, da mesma maneira do que dos granulados finos com cerca de 1 milímetro de diâmetro. As variações no formato, dimensão e humidade da cortiça ao longo da sua transformação requer várias formas de transporte diferentes ao longo do processo.

4.10.1 Transporte pneumático

O meio de transporte de cortiça mais comum, e utilizado em todas as indústrias de trituração sem exceção, é o transporte pneumático. Este tipo de transporte consiste na utilização de uma rede de tubagens, normalmente de aço, que irão transportar por ação de um diferencial de pressão, os materiais ao longo dos percursos pré-definidos (Figura 4.17). Na indústria é particularmente utilizado no transporte de materiais granulados e de gases. A principal vantagem do transporte pneumático em relação aos outros tipos de transporte, e a principal razão de ser tão utilizado no mundo corticeiro, é a facilidade de remoção de pós através da utilização de ciclones e de filtros.

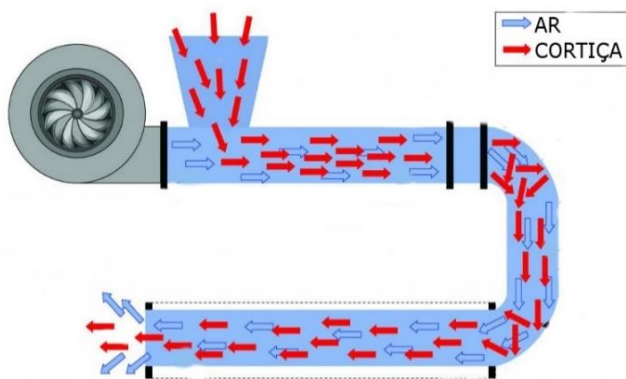


Figura 4.17 – Esquema de funcionamento do transportador pneumático (adaptado Van Ormer, 2018)

4.10.2 Tapetes rolantes

A utilização de tapetes rolantes é um dos métodos de transporte automatizado mais antigos e também dos mais comuns no mundo industrial. Na indústria corticeira tem uma importância relativamente baixa pois a maioria das fábricas cinge-se ao transporte pneumático, contudo, e maioritariamente na fase inicial do processo, é possível encontrar tapetes transportadores a alimentar os trituradores primários.

4.10.3 Parafusos-sem-fim

Os parafusos-sem-fim consistem numa estrutura metálica com uma forma helicoidal, cuja rotação por via de um motor elétrico fará o material deslocar-se com a rotação do fuso. Existem vários tipos de fusos diferentes, com diferentes funcionalidades e com diferentes *set-ups*, cujas especificações serão definidas consoantes a função a desempenhar. No caso da indústria corticeira, os parafusos-sem-fim são encontrados frequentemente no transporte do *broken*. Este sistema é por vezes evitado pois a fricção que surge entre o fuso e as paredes do contentor irá produzir pó, reduzindo ligeiramente o rendimento do processo.

4.10.4 Gravidade

Apesar de ser algo peculiar considerar a deslocação dos materiais por gravidade como um método de transporte, principalmente quando comparado com os exemplos anteriores, a importância da força gravítica na indústria corticeira torna-a extremamente relevante de mencionar. De uma maneira geral, todo o processo de trituração vai depender da força gravítica, seja, por exemplo, a alimentação de cortiça para o interior dos trituradores, seja o funcionamento dos peneiros ou das mesas densimétricas. Havendo uma tendência para desenvolver este tipo de indústrias em altura, o aproveitamento da força gravítica como meio de transporte dos granulados entre as várias fases do processo reduz significativamente a necessidade de recorrer à pneumática e, por conseguinte, o número de condutas na rede de transporte pneumático. Este fator diminui as necessidades energéticas da fábrica, tornando-se uma mais valia tanto a nível monetário bem como a nível ambiental o aproveitamento desta força natural. Esta alternativa tem, no entanto, como grande inconveniente o elevado risco de propagação das chamas em caso de incêndio devido à presença de equipamentos montados imediatamente em cima uns dos outros.

4.11 Armazenamento, Ensaque e Expedição

O destino final dos granulados entre as várias indústrias varia bastante consoante a fábrica que se está a considerar. Muitas das vezes, na tentativa de otimizar o espaço e reduzir os tempos e os investimentos em transporte de matéria-prima, são montadas fábricas de processamento de cortiça anexas umas às outras. No caso de existirem outras unidades de processamento de cortiça na área circundante à fábrica de trituração, por exemplo, uma fábrica de rolhas aglomeradas, os granulados são por norma transportados pneumáticamente para um silo que irá alimentar essa mesma indústria. Por outro lado, se a trituração estiver independente de qualquer outra indústria, os granulados são carregados em *Big-Bags* e transportados por camiões para um entreposto comercial ou diretamente para o consumidor final.

4.11.1 Silos de armazenamento

Os silos de armazenamento são estruturas de construção metálica com grandes dimensões que permitem armazenar os produtos finais da trituração até que estes sejam vendidos ou utilizados. Estes silos têm por norma sistemas internos de movimentação da cortiça para evitar a criação de aglomerações naturais dos granulados. Como dito anteriormente, a existência de indústrias de processamento de cortiça junto à trituração leva a que os silos tenham, em alguns casos, uma ligação direta ao início do processo dessa mesma indústria. Existe também a possibilidade de o material presente no interior do silo ser descarregado para camiões, sendo os granulados vendidos a granel.

4.11.2 Big-Bags

Os *Big-Bags* são dos métodos mais utilizados nas indústrias produtoras de granulados, sendo comum encontrar produtos farmacêuticos, sementes, plásticos, fertilizantes, minérios, alimentos e cortiça a serem transportados neste tipo de embalagem industrial.

Os sacos (*Bags*) propriamente ditos são feitos a partir de tecidos flexíveis, em particular polipropileno ou polietileno. As dimensões comuns da base variam dos 95 aos 110 centímetros, podendo ser quadrada ou retangular, e entre os 100 e os 200 centímetros de altura.

Na indústria corticeira, são normalmente utilizados os sacos de maiores dimensões, permitindo transportar cerca de 2 m³ de granulados. As medidas dos sacos estão normalizadas de modo a maximizar o espaço utilizado na galera do camião que os transportará.



Figura 4.18 – Armazenamento dos sacos (CBE, 2018)



Figura 4.19 – Big Bag (Nier Systems, 2018)

4.12 Remoção de Pó de Cortiça

Um dos tópicos mais complexos das triturações de cortiça é a produção de pó e as ações necessárias para que esta questão não apresente um problema para o bom funcionamento do processo.

O pó é produzido em praticamente todas as operações que movimentem a cortiça, contudo, é nas operações de trituração que é originada a sua maior percentagem. Ao triturar a cortiça, pequenas partículas com tamanhos inferiores a 0.5 milímetros são produzidas. Estes grãos, para além de não serem valorizados como granulados, irão acumular-se junto das paredes das máquinas e das tubagens, criando camadas de sujidade que podem ter efeitos nefastos no processo. Exemplos desses efeitos são por exemplo a redução das secções das tubagens por onde flui a cortiça, dificultando o transporte, ou a deposição dos pós nos órgãos das máquinas do processo, podendo aumentar os atritos associados e resultar em danos que irão reduzir o tempo médio de vida espectacular dos vários equipamentos. A quantidade de pó produzida nas fases de trituração depende em muito do tipo de moinho e da humidade da cortiça no momento de corte, contudo, e independentemente destas variáveis, a sua produção é inevitável.

De modo a evitar as consequências da acumulação de pós ao longo do processo, surgem nas implantações de trituração os seguintes mecanismos:

4.12.1 Ciclones

Os ciclones são aparelhos utilizados em praticamente todas as indústrias que envolvam transporte pneumático. São estruturas com a funcionalidade de separar partículas cujas diferenças mássicas sejam consideráveis. O seu método de separação consiste na formação de dois vórtices de ar no interior de uma estrutura cónica. Um dos vórtices junto das paredes do equipamento no sentido descendente, e outro junto ao eixo do cone no sentido ascendente. Os materiais mais pesados, devido à força centrífuga, irão ser transportadas junto às paredes do cone e chegar à base da estrutura, enquanto os materiais leves (pó) serão aspirados pelo vórtice ascendente, sendo assim feita a separação como se pode ver na Figura 4.20.

Na indústria corticeira são utilizados ciclones entre praticamente todas as operações do processo, sendo um dos aparelhos mais comuns neste tipo de implantações. O pó é então aspirado e transportado pneumaticamente para os filtros de ar.



Figura 4.20 – Esquema de funcionamento de um ciclone (Ferreira, 2017)

4.12.2 Malhas de separação

Sendo os trituradores a principal fonte de pó de cortiça na produção de granulados, as industriais atuais apostam numa separação e aspiração do pó nas proximidades dos próprios moinhos. Para tal, são colocadas imediatamente abaixo da zona de corte dos trituradores malhas de separação que irão separar partículas com dimensões inferiores a 0.5 milímetros do restante fluxo de material. Estas caem por gravidade para um bocal onde um sistema de aspiração pneumático irá guiar as poeiras para silos de armazenamento de pó.

4.12.1 Peneiros

Ao longo do processo existem várias fases de peneiração da cortiça. Nos equipamentos utilizados, o último nível de separação é por norma reservado à separação de poeiras. Isto acontece tanto na primeira peneiração como na segunda, e é um método eficaz de remoção por gravidade de partículas demasiado pequenas que possam não ter sido aspiradas pelos ciclones. Estas poeiras são por norma transportadas pneumaticamente para os filtros de ar.

4.13 Filtragem e Reaproveitamento do Pó de Cortiça

Como referido nos tópicos anteriores, existem ao longo do processo vários pontos de aspiração de pó. As poeiras retiradas do processo, apesar de serem consideradas inúteis na produção de granulados, tem algumas características interessantes que possibilitam a sua rentabilização. Contudo, é necessário proceder a uma operação de filtragem para retirar as partículas de pó do ar do transportador pneumático.

4.13.1 Filtragem do Ar

As operações de filtragem consistem na remoção das partículas sólidas que são transportadas por um qualquer fluido. O fluido neste caso é o ar utilizado no transporte pneumático, e o material a remover são as pequenas partículas de cortiça retiradas do processo. Na indústria atual o método mais comum de filtragem é a passagem do ar por filtros de mangas:

- Filtros de mangas

O processo de filtragem começa com a introdução do ar rico em partículas sólidas em várias mangas de tecido fibroso que irão permitir a passagem do fluxo de ar e reter junto das fibras os materiais sólidos. Os espaçamentos entre as fibras do tecido são ajustáveis ao tipo de produtos a filtrar, sendo possível ter eficiências de remoção de 99%.

A superfície do tecido de filtragem irá ao longo do tempo acumular as poeiras, sendo necessário remove-las periodicamente. Existem vários métodos de limpeza dos filtros sendo alguns

deles a limpeza através de vibração mecânica; a reversão do sentido do ar nos filtros; ou a limpeza através de jatos de ar comprimido. As poeiras irão cair então por gravidade para a base destas estruturas onde serão transportadas posteriormente para o interior dos silos de pó.



Figura 4.21 – Funcionamento de um filtro de mangas (Astec, 2018)

4.13.2 Silos de pó

Todas as poeiras retiradas do processo são por norma armazenadas em silos. Estes silos são dotados de sistemas rotativos que impedem que o pó forme aglomerados junto das paredes dos próprios. Alguns silos apresentam para além disso, pequenas entradas de injeção de ar comprimido para soltar o pó que fique agarrados às paredes da estrutura.

Quando atinge um determinado nível, o pó é descarregado para camiões para ser reaproveitado ou para ser vendido a granel.

Em algumas implantações com reaproveitamento do pó da cortiça para produção de energia térmica, existem condutas a ligarem estes silos às fornalhas de irão queimar a matéria-prima.

4.13.3 Queima do pó

Apesar da cortiça, como dito no subcapítulo 2.1, possuir boas propriedades de resistência à combustão, quando reduzida a partículas muito finas, este material revela um comportamento quase oposto, possuindo para além disso um considerável poder calorífico. A grande área de contacto com o ar, gera uma combustão rápida, libertando quantidades considerável de energia sob a forma de calor. Os produtores de cortiça aperceberam-se desta potencialidade e criaram sistemas de reutilização do pó, outrora um desperdício inevitável, para produção de energia térmica com o fim de ser utilizada nos secadores, aumentando o rendimento da matéria-prima através da poupança verificada no consumo elétrico e na aquisição de combustíveis.

4.13.4 Venda do pó

Muitas indústrias, não tendo capacidade de aproveitamento de todo o pó que produzem, optam por vender a granel esta matéria-prima. Esta é aproveitada maioritariamente para a produção de energia nas centrais de biomassa e nas empresas de cerâmica.

4.13.5 Cogeração

Havendo excedente de pó, uma opção extremamente viável é a produção de energia elétrica a partir da queima do mesmo. Através da instalação de uma central de cogeração de energia, é possível a alimentação direta da rede elétrica, reduzindo significativamente o consumo de eletricidade, e ao mesmo tempo garantir a satisfação das necessidades térmicas dos secadores e do processo. As centrais de cogeração são, no entanto, investimentos consideráveis, não sendo muito frequentes de encontrar na indústria corticeira.

Um exemplo de um forno a biomassa associado a uma caldeira, partes constituintes de uma central de cogeração (faltando apenas o gerador de eletricidade para o sistema completo) está representado na Figura 4.22.



Figura 4.22 – Central de Cogeração com capacidade de 6 MW (FLUCAL, 2018)

4.14 Sistemas Anti-Incêndio

Um dos problemas mais graves associados às industriais corticeiras são os incêndios. Como tal, foram desenvolvidos ao longo dos anos vários sistemas de prevenção dos incêndios e de contenção dos fogos:

4.14.1 Chapas magnetizadas

Uma das fontes principais de ignição da cortiça são as chispas (ou faúlhas) geradas quando um objeto metálico entra em contacto com as ferramentas de corte ou martelos dos trituradores. Estas faúlhas irão posteriormente entrar no sistema pneumático e gerar incêndios ao longo das condutas do processo ou nos silos de armazenamento, podendo originar explosões. Para colmatar esta situação, é comum colocarem-se chapas magnetizadas ao longo das primeiras tubagens de transporte pneumático e nas entradas dos trituradores para intercetar quaisquer objetos metálicos aquando da passagem dos granulados.

4.14.2 Detetores de incêndio

Ao longo de todo o processo são instalados pequenos equipamentos de deteção de calor ou de fumo. Estes podem ser instalados nas estruturas que rodeiam as máquinas do processo, ou mesmo no interior das condutas de alimentação dos granulados. Os detetores de incêndio encontram-se em constante *feedback* com um sistema automático de segurança que irá por sua vez ativar os sistemas de contenção de incêndio.

4.14.3 Alarmes de incêndio

Como dito anteriormente, ao serem acionados, os sensores de incêndio irão ativar vários sistemas adicionais de segurança. Um dos sistemas mais simples é o alarme geral da fábrica que irá precaver e alertar os operadores do sucedido. São muitas vezes desenvolvidos protocolos de emergência, tanto para auxiliar na extinção do incêndio bem como para proteger a integridade física dos empregados da implantação.

4.14.4 Válvulas de fecho automático

As condutas de transporte pneumático, sejam de granulados seja dos pós retirados do processo, apresentam-se em caso de incêndio como o principal meio de propagação dos incêndios. Para além disso, estas condutas têm como destino final os silos de armazenamento de pó, de granulados ou de *buffers* intermédios do processo cheios de matéria inflamável, sendo por isso um dos pontos mais importantes de atuação em caso de incêndio.

Com a finalidade de interromper o transporte do material em chama, quando o alarme é acionado, estão instaladas nas condutas, válvulas de fecho automático que irão impossibilitar a propagação do incêndio por via do transporte pneumático. Os motores responsáveis pela aspiração são também desligados automaticamente, reduzindo o risco de propagação e de danos nos aparelhos.

4.14.5 Sistema de *Sprinklers*

Um dos sistemas anti-incêndio mais comuns são os sistemas de *sprinklers* (Figura 4.23). Estes consistem numa rede de água pressurizada que abrange as áreas críticas da fábrica, e cujas terminações são pequenos dispositivos que dão o nome ao sistema. Estes aparelhos são dotados de um tubo de alimentação de água que por via da atuação de um fusível sensível à temperatura, irão libertar água automaticamente sobre as chamas.

Nas indústrias de granulados de cortiça, a utilização de *sprinklers* é extremamente comum, estando presentes nos tetos das fábricas, entre cada andar do processo, dentro dos silos e no interior das condutas de transporte pneumático.

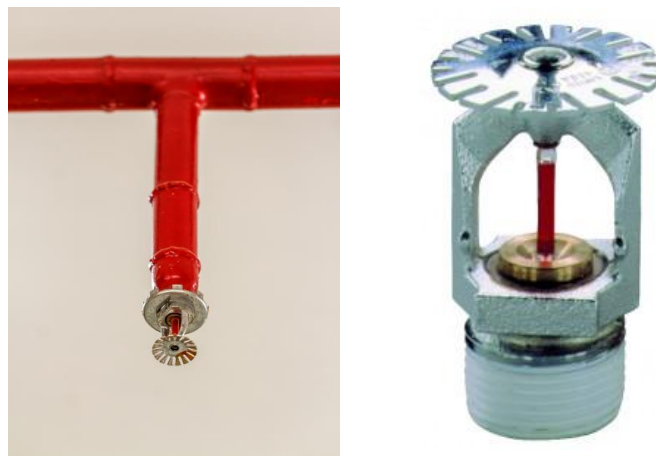


Figura 4.23 – Exemplos de *Sprinklers* (FPS, 2018)

5 Conceção do projeto da fábrica

Neste capítulo serão introduzidos alguns dos problemas mais relevantes associados às triturações tradicionais e será feita uma reflexão sobre os seus impactos e causas. Posteriormente será feita uma proposta alternativa ao projeto comum na tentativa de solucionar ou minimizar os efeitos negativos das situações descritas. Estas decisões serão tomadas com base nas teorias e metodologias descritas no capítulo 3. Todas as diferentes fases do processo serão acompanhadas de desenhos das implantações propostas com a finalidade de ilustrar e auxiliar a compreensão dos sistemas propostos.

5.1 Alimentação da Cortiça

Como dito no subcapítulo 4.2, os vários tipos de cortiça são transportados através de camiões e de pás carregadoras dos vários pontos de armazenamento para as proximidades do primeiro triturador. Após o transporte para a zona adjacente ao triturador, surge a necessidade de definir a proporção entre os três tipos principais de cortiça (refugo, aparas de disco e de broca). A mistura é definida adicionando individualmente cada uma das variedades aos *buffers* dos trituradores.

Por norma, os três tipos de matéria-prima são descarregados no mesmo espaço físico, criando nas fronteiras zonas de mistura das diferentes qualidades. Isto leva a que no momento de adição de material aos trituradores, um carregamento, por exemplo, de refugo, poderá conter uma percentagem considerável de aparas. A mistura dos vários tipos de cortiça é algo que irá ditar em muito as propriedades dos granulados a processar e, por conseguinte, a definição dos vários parâmetros de ajuste dos equipamentos, sejam estes dos trituradores, peneiros, secadores ou mesas densimétricas. Uma proporção inconstante pode ter uma influência extremamente negativa no rendimento do processo como será explicado em fases posteriores deste trabalho.

5.1.1 Abordagem axiomática do problema

A redução das flutuações das proporções, sendo uma temática crítica ao rendimento do processo, torna-se uma prioridade para o proprietário da instalação. Tendo as necessidades do cliente em consideração, foram definidos os seguintes requisitos funcionais (*Functional Requirements* - FR):

- FR1- Assegurar a alimentação contínua de cortiça
- FR2- Minimizar tempos de transporte
- FR3- Minimizar a variabilidade da mistura

Na indústria tradicional, como resposta aos FRs, podem ser definidos os seguintes parâmetros de projeto (*Design Parameters* – DP) como as respostas mais comuns:

DP1- Pá carregadora

DP2- Armazém próximo do primeiro triturador

A equação 5.1 representa esta fase do processo:

$$\begin{Bmatrix} \text{FR1} \\ \text{FR2} \\ \text{FR3} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} \text{X} & 0 \\ 0 & \text{X} \\ \text{X} & 0 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \text{DP1} \\ \text{DP2} \end{Bmatrix} \quad 5.1$$

Segundo o primeiro teorema da Teoria Axiomática, quando o número de parâmetros de projeto é inferior ao número de requisitos funcionais, o projeto ou é acoplado ou os requisitos funcionais não estão assegurados. (Suh, 1990)

Através da matriz de projeto conclui-se que o caso comum da indústria tradicional representa um projeto acoplado e deverá por isso ser modificado de modo a assegurar a independência dos FRs.

O problema descrito anteriormente surge devido à falta de controlo nas quantidades a misturar de cada tipo de matéria-prima, tanto no momento de descarga inicial como no momento de descarga para a zona adjacente aos primeiros moinhos trituradores.

Havendo uma separação à entrada da fábrica dos vários tipos de cortiça em três localizações diferentes, evitar-se-iam misturas indesejadas à chegada da matéria-prima às instalações. É de notar, no entanto, que três localizações separadas entre si aumentam significativamente as distâncias e consequentemente o tempo de transporte da cortiça para os trituradores.

Outra possível alternativa ao sistema atual seria a implementação de um armazém único, anexo ao edifício do processo, nas proximidades dos trituradores e dotado de separadores para cada tipo de matéria-prima. Contudo, dado o consumo médio aproximado de 400 m³ de cortiça por dia, um armazém fechado e de grandes dimensões exigia um investimento elevado e iria implicar uma distância considerável entre a matéria-prima e os moinhos trituradores.

5.1.2 Solução Proposta

A solução que será mais proveitosa será a junção das duas alternativas descritas anteriormente. A implementação de um sistema de separação dos três tipos principais de matéria-prima à chegada iria prevenir a mistura das diferentes qualidades na fase de descarga da matéria-prima. Por estar afastada da linha de produção e dos trituradores, esta solução não implicaria grandes riscos de segurança para os operadores e iria possibilitar um rápido processo de descarga. Associado à zona próxima dos trituradores, edificar-se-ia um armazém de dimensões mais reduzidas segmentado em três parcelas, que iria funcionar como um *buffer* de matéria-prima. Este iria permitir ao operador responsável pela alimentação dos trituradores transportar a matéria-prima de uma maneira rápida, podendo colmatar quaisquer problemas ou faltas de matéria (Teorema 24). O armazém receberia diariamente os três tipos de cortiça, cada qual destinado a cada segmento.

- Reavaliação Axiomática

A solução descrita anteriormente pode ser interpretada como a adição de um novo DP para desacoplar o projeto (Teorema 1):

DP3- Separação dos tipos de matéria-prima por tipo

Obtendo a matriz de projeto descrita na equação 5.23.4:

$$\begin{Bmatrix} \text{FR1} \\ \text{FR2} \\ \text{FR3} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} X & 0 & 0 \\ 0 & X & 0 \\ X & 0 & X \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \text{DP1} \\ \text{DP2} \\ \text{DP3} \end{Bmatrix} \quad 5.2$$

Apesar de ser uma alteração simples no raciocínio tradicional, ao adicionar este parâmetro, o projeto outrora acoplado torna-se desacoplável e, de acordo com o Teorema 18 da Teoria Axiomática, um melhor projeto. Desta forma, a alimentação dos tipos diferentes de cortiça poderá ser feita de uma forma mais eficiente, não pondo em causa a rapidez do processo, tal como ditado pelos requisitos funcionais.

5.1.3 Layout Final

Em relação ao armazenamento no momento da descarga da matéria-prima, serão edificadas três estruturas metálicas que irão cobrir a matéria-prima, protegendo-a da chuva. Estas não terão paredes laterais com o intuito de aproveitar o vento para a secagem natural da cortiça.

Em relação ao espaço de armazenamento, as aparas, sendo matéria-prima proveniente das indústrias rolheiras, estão disponíveis para aquisição ao longo do ano, não necessitando de grandes áreas de armazenamento. No caso das pranchas de refugo, a aquisição da matéria-prima (a preços rentáveis) dá-se maioritariamente nos meses seguintes ao verão. Assim sendo, há a necessidade de garantir espaço de armazenagem suficiente para a aquisição de grandes quantidades deste tipo de cortiça. Na Figura 5.1 encontra-se um esquema do terreno envolvente da fábrica onde se podem visualizar as três divisórias para a cortiça (refugo + aparas), à esquerda, bem como o espaço disponível para armazenar refugo ao ar livre.

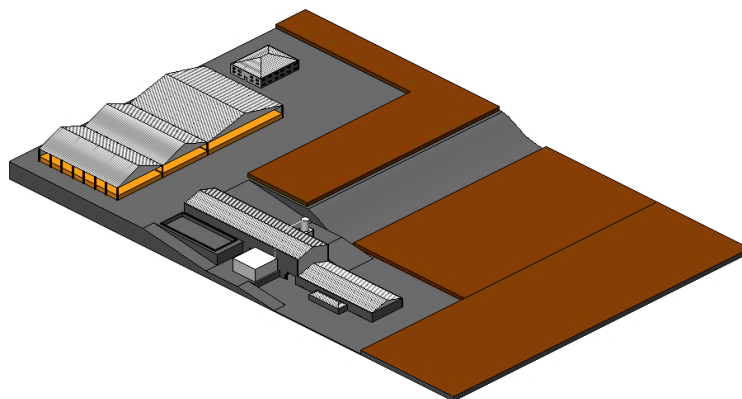


Figura 5.1 – Representação aérea das áreas de armazenamento de matéria-prima

Na Figura 5.2 apresentam-se as dimensões gerais do terreno e das várias zonas distintas do processo.

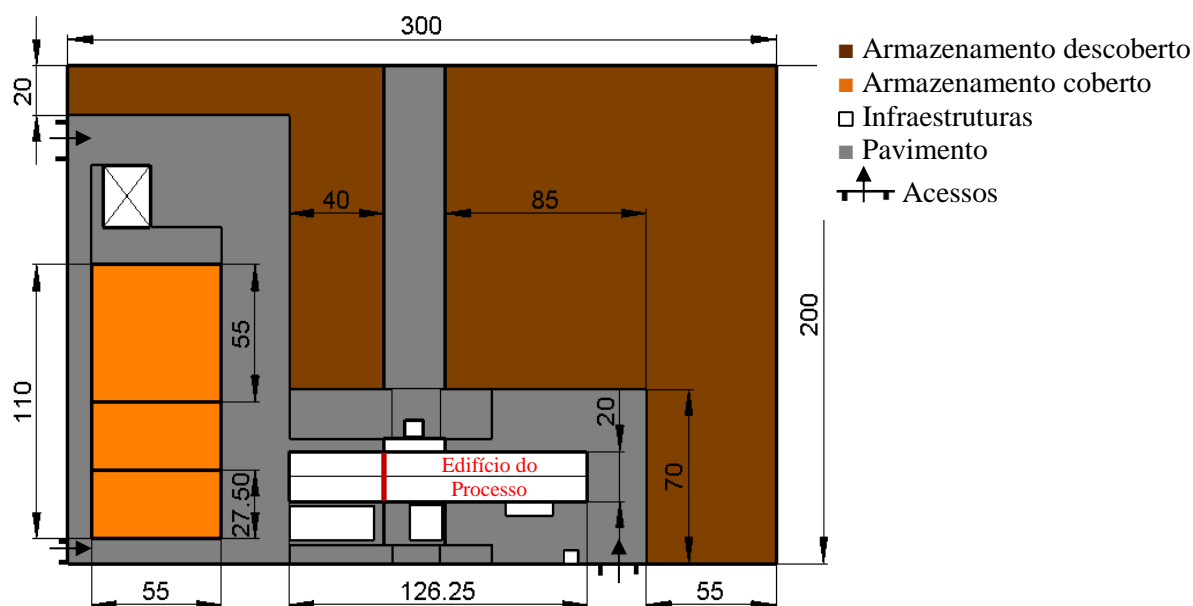


Figura 5.2 – Vista de topo e dimensões gerais das áreas de armazenamento de matéria-prima

A partir dos valores estabelecidos na imagem anterior, obtém-se a capacidade de armazenamento total do terreno da implantação, descrito na Tabela 5.1:

Tabela 5.1 – Área disponível e capacidade exterior de armazenamento

Tipo matéria-prima	Áreas disponíveis	Área Total (m ²)	Capacidade total mínima (m ³)
Refugo	20 x 95 + 40 x 130	19250 (ar livre)	44 550
	55 x 20 + 85 x 130	+	
	55 x 55 (coberto)	3025 (coberto)	
Aparas de broca	55 x 27.5 (coberto)	1 512.5 (coberto)	3 025
Aparas de disco	55 x 27.5 (coberto)	1 512.5 (coberto)	3 025

Partindo dos valores de área total, considerando uma altura de empilhamento da cortiça de 2 metros, considerando uma mistura com 75% de refugo, ou seja 300 m³ diários, o volume de armazenamento disponível é sinónimo de mais de 150 dias de produção.

Quanto às aparas, considerando uma mistura de 50%, ou seja, 200 m³ diários, a capacidade de armazenamento coberto garante cerca de 30 dias, possibilitando encomendas (ou carregamentos) mensais deste tipo de matéria-prima.

Na continuação do edifício onde decorre o processo será edificado um espaço de armazenamento de cortiça delimitado na figura pelo traço vermelho. A representação simplificada deste espaço, bem como as suas dimensões, encontra-se na Figura 5.3.

As suas dimensões foram definidas de modo a que a maquinaria envolvida no processo seja manobrada com facilidade. O desnível representado no lado direito da imagem está relacionado com o *layout* do processo e será explicado numa fase posterior da dissertação, estando destinado aos trituradores primários.

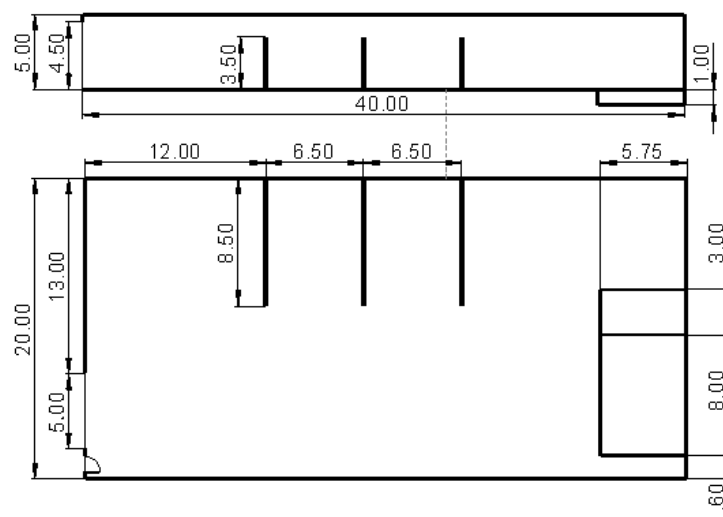


Figura 5.3 – Edifício da trituração inicial com áreas de *buffer*

A entrada no armazém será feita através de um portão com 5 metros de largura por 4.50 metros de altura, possibilitando a entrada de veículos de grandes dimensões.

O espaço reservado para a cortiça possibilita que o volume de cortiça seja apenas recarregado de 24 em 24 horas, considerando mistura de 50% refugo/aparas, sendo que a capacidade de armazenamento de cada tipo de matéria-prima está discriminada na Tabela 5.2:

Tabela 5.2 – Dimensões e capacidade do armazém inicial

Tipo de matéria-prima	Dimensões (L x C x H) [m]	Volume mínimo disponível [m ³]
Refugo	12 x 8.5 x 2.5	255
Apara de disco	6.5 x 8.5 x 2.5	138.1
Apara de broca	6.5 x 8.5 x 2.5	138.1

A definição da altura média das pilhas de cortiça apresenta-se como uma minoração, sendo razoável considerar as mesmas com uma altura próxima dos 3 metros e assim armazenar quantidades superiores às descritas.

Os valores obtidos nas tabelas apresentam-se como estimativas da capacidade real de armazenamento do terreno circundante da fábrica, sendo que não foram considerados no cálculo das áreas disponíveis os troços de acesso aos vários pontos de descarga da matéria-prima. Contudo, os valores apresentados apresentam uma aproximação bastante razoável do que será o espaço real disponível.

5.2 Primeira Fase de Trituração

Entende-se como primeira fase de trituração todo o processo desde a definição da mistura de cortiça até à entrada da matéria-prima no secador.

No processo tradicional, os operadores das carregadoras de pás são responsáveis pela mistura dos três principais tipos de matéria-prima e pela sua introdução nos alimentadores dos trituradores. Um problema associado a este método simultâneo de alimentação e de mistura é a variabilidade da quantidade e qualidade da cortiça introduzida no processo por unidade de tempo.

Começando pela maquinaria a utilizar, as pás carregadoras, apesar de extremamente versáteis, irão variar a quantidade de cortiça introduzida nos trituradores entre carregamentos, dependendo do quão cheia está a pá do carregador, do tipo de material que transporta e da destreza do operador da máquina, sendo praticamente impossível controlar rigorosamente que volume de matéria-prima entra nos trituradores. Assim, a indústria tradicional depende fortemente do conhecimento, da experiência e da aptidão técnica dos operadores na definição das proporções dos diferentes tipos de matéria-prima, o que resulta numa fonte considerável de incerteza na mistura utilizada.

Apesar de no subcapítulo anterior (5.1) se ter alcançado uma solução que visa reduzir os problemas associados a esta temática, estaria errado assumir que a entrada de matéria-prima nas restantes fases do processo está bem definida ou que tem um comportamento estável. A proporção entre o refugo e as aparas está muitas vezes mal estipulada e varia consoante o stock existente nos armazéns da fábrica. Como dito anteriormente, estas variações vão por sua vez afetar a afinação das máquinas ao longo do processo, tendo um efeito prejudicial no rendimento e na eficiência global da instalação.

Sobre o ponto de vista da facilidade de manutenção, e focando a atenção nos sistemas atualmente utilizados, a trituração inicial é normalmente garantida recorrendo a um só moinho triturador que alimenta toda a linha do processo. A cortiça, sendo um tipo de matéria-prima com propriedades abrasivas, irá desgastar os componentes constituintes dos trituradores, em particular as ferramentas responsáveis pela trituração do material, sejam estas facas, contrafaças, martelos ou estrelas. A necessidade de manutenção irá periodicamente forçar a paragem dos moinhos e a consequente paragem de toda a linha a jusante, sendo estas paragens sinónimas de prejuízo. Se na tentativa de aumentar a produção (ao evitar as paragens) forem ignorados os prazos previstos de intervenção recomendados, irão certamente surgir falhas e avarias nestes equipamentos, muitas vezes até a um ponto sem retorno, bem como a degradação da qualidade do produto final.

5.2.1 Abordagem axiomática do problema

Analizando a sequência de alimentação da cortiça e a fase de trituração através do ponto de vista da Axiomático, identificam-se os seguintes FR:

- FR1- Assegurar a alimentação de cortiça
- FR2- Triturar a cortiça
- FR3- Manter a proporção dos diferentes tipos de cortiça constante
- FR4- Ajustar a proporção

Como resposta para os requisitos funcionais, a indústria tradicional apresenta os seguintes parâmetros de projeto:

- DP1- Operador da carregadora de pá
- DP2- Moinho triturador

Obtendo a matriz de projeto representada na equação 5.33.4

$$\begin{Bmatrix} \text{FR1} \\ \text{FR2} \\ \text{FR3} \\ \text{FR4} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} \text{X} & 0 \\ 0 & \text{X} \\ \text{X} & 0 \\ \text{X} & 0 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \text{DP1} \\ \text{DP2} \end{Bmatrix} \quad 5.3$$

A equação 3.4 representa um projeto acoplado segundo o primeiro axioma da Teoria Axiomática, não estando garantida a independência entre os FRs. Para alcançar um melhor projeto é necessário repensar o *layout* inicial desta fase do processo (Teorema 15).

Como passo inicial, a abordagem tradicionalmente feita à matéria-prima pode ser revista. Analisando os três tipos diferentes de cortiça e comparando-os entre si pela sua qualidade global e pela concentração de impurezas, é possível distinguir dois grupos principais.

- Cortiça de qualidade inferior – Pranchas de refugo
- Cortiça de qualidade superior – Aparas de disco e de brocas

Através deste novo método de distinção entre matéria-prima, uma solução possível para os problemas verificados na indústria tradicional seria a criação de dois sistemas separados e independentes de trituração.

Com a introdução de dois moinhos trituradores, um destinado às pranchas de refugo, e outro às aparas de disco e de broca, seria possível criar dois fluxos separados de matéria-prima triturada diferenciados pela qualidade da cortiça presente em cada um. Esta medida afasta a necessidade de misturar os vários tipos de cortiça numa fase prévia à trituração, onde controlar rigorosamente a matéria-prima introduzida tem uma dificuldade acrescida.

Associado a cada um dos trituradores seria instalado um sistema mecânico de transporte de cortiça para dois silos diferentes. Após a ensilagem, estes sistemas de transporte iriam fazer convergir a cortiça na tolva de alimentação do secador, sendo que à entrada deste estaria reunido o

caudal total a ser processado pelas seguintes fases do processo. As diferentes velocidades de transporte destes aparelhos ditariam as proporções entre as duas qualidades de cortiça.

Como resposta ao FR4, que exige um ajuste da proporção das qualidades, através da utilização de um controlador de frequência associado a cada um dos mecanismos de transporte, seria possível ajustar as velocidades de alimentação de cada uma das qualidades de cortiça. (Teorema 5).

Assistimos assim à criação de dois novos DPs e à reformulação do DP2, contudo, surge a necessidade de garantir a presença constante de cortiça para que os sistemas mecânicos de transporte possam alimentar o processo. Assim sendo, surge um novo FR:

FR5- Assegurar alimentação contínua dos transportadores

A satisfação deste requisito funcional está de acordo com Teorema 24 da Teoria Axiomática. A introdução de silos acima dos transportadores irá satisfazer o FR5, criando um *buffer* de matéria-prima.

Alcançamos então assim um novo projeto, caracterizado por cinco FRs e os seguintes DPs:

- DP1- Operador da carregadora de pá
- DP2'-Dois trituradores
- DP3- Dois circuitos separados de cortiça
- DP4- Variadores de frequência no transportador
- DP5- Silos sobre os transportadores

A equação 5.4 representa o a equação de projeto associada à primeira fase de trituração:

$$\begin{Bmatrix} \text{FR1} \\ \text{FR2} \\ \text{FR5} \\ \text{FR3} \\ \text{FR4} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} X & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & X & 0 & 0 & 0 \\ X & X & X & 0 & 0 \\ 0 & 0 & X & X & 0 \\ 0 & 0 & 0 & X & X \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \text{DP1} \\ \text{DP2'} \\ \text{DP5} \\ \text{DP3} \\ \text{DP4} \end{Bmatrix} \quad 5.4$$

O novo projeto é então desacoplável como visível na matriz, respeitando o axioma da independência se a ordem de definição dos DPs for respeitada, superando os projetos acoplados tradicionais (Teorema 18). Contudo, este projeto tem algumas dependências importantes de referir.

Para garantir que os sistemas de transporte irão manter as proporções dos dois tipos de qualidade de cortiça, é necessário garantir que os *buffers* assegurem sempre as necessidades do processo. Assim sendo, o bom funcionamento dos trituradores, bem como o bom desempenho do operador da pá carregadora irá influenciar a satisfação do FR5. É de notar, no entanto, que os silos possibilitarão o funcionamento da fábrica por um período limitado de tempo sem os trituradores estarem em funcionamento.

Uma dependência bastante óbvia é o ajuste das proporções depender do correto funcionamento dos transportadores, sendo por isso o FR4 dependente do DP3. Uma dependência adicional é a manutenção das proporções por parte dos transportadores dependerem da presença de matéria-prima nos silos e por conseguinte o FR3 estar relacionado com o DP5.

5.2.2 Capacidade de manutenção dos moinhos

Como dito no início deste subcapítulo, a manutenção dos moinhos é um dos motivos mais comuns de paragem nas indústrias de trituração de cortiça. O raciocínio de separação de matéria-prima presente na solução proposta irá trazer vantagens no que toca às operações de manutenção.

Começando pela pelo próprio layout do sistema, os silos permitem que haja uma paragem dos primeiros moinhos sem afetar diretamente a produção, contudo, o período de tempo pode muitas vezes ser limitado para as operações a realizar.

Recorrendo a um mecanismo de válvulas desviadoras antes da entrada da cortiça nos silos, seria possível alimentar ambos os silos com matéria-prima triturada num só triturador. Este aspeto constitui uma redução significativa a nível de tempos não produtivos permitindo à unidade industrial trabalhar apenas com um triturador durante um período de tempo considerável, possibilitando que os operadores executem operações de manutenção mais exigentes ou até que repararem eventuais avarias sem que a produção cesse.

Em caso de uma avaria grave e prolongada num dos aparelhos, o triturador adicional teria capacidade para dar continuidade à produção, apesar de a um ritmo mais baixo, amenizando as perdas associadas à paragem. Visto que ambos os trituradores serão capazes de tritar os dois tipos de matéria prima existente, nestas situações singulares poderá optar-se por continuar a fazer a separação refugo/aparas descrita anteriormente, ou de regressar ao sistema de mistura tradicional.

5.2.3 Trituradores

Na escolha do tipo de trituradores, a indústria tradicional recorre na maioria dos casos a moinho de facas. Estes apresentam resultados satisfatórios a nível de produção de pó, manutenibilidade e resistência do equipamento. Assim sendo, este sistema foi mantido e será apresentado como solução final do projeto.

Após uma análise dos equipamentos disponíveis no mercado, houve um destaque para uma linha específica de equipamentos:

- *DGS General purpose single shaft shredder*

Dentro da oferta de trituradores disponível no mercado, distinguem-se algumas empresas que consideram as operações de manutenção e a eficiência energética dos aparelhos nos seus projetos. A empresa chinesa DGM, especialista em trituradores para a indústria de reciclagem é um exemplo das considerações referidas anteriormente, e apresentou na sua linha DGS (Figura 5.4) características indicadas para a indústria corticeira.

O fator preponderante na escolha destes equipamentos foi a sua elevada manutenibilidade. Nestas máquinas, as partes onde o desgaste incide de uma maneira mais nefasta é nas ferramentas de corte, ou seja, facas, contra-facas, e nos crivos. A DGM, no projeto do equipamento, teve isso

em consideração. Na estrutura da máquina existe um sistema de acesso rápido a estes componentes, que não requer que se desmonte ou retire qualquer outro elemento integrante do triturador. Desta forma, praticamente todo o tempo das operações de manutenção é utilizado para a troca dos componentes críticos e não em operações que não representam qualquer valor acrescido. Na Figura 5.5 é visível o quão acessíveis são estes componentes, e a facilidade de os alcançar.



Figura 5.4 – *DGM DGS General Purpose Single Shaft Shredder* (DGM, 2018)

Estes equipamentos apresentam um ariete robusto e com uma inclinação que permite guiar de uma maneira mais eficiente a cortiça contra as lâminas de corte. Esta particularidade também permite reduzir as suas dimensões gerais em relação aos modelos horizontais. Possuem ainda um controlador de amperagem, permitindo à partida saber qual a potência consumida, bem como possibilitar a deteção prévia de problemas nestes aparelhos através das oscilações da corrente.



Figura 5.5 – Detalhe construtivo do acesso ao crivo e às ferramentas de corte (RAWMEC, 2018)

- *DGM DGS 1500*

Da gama DGS existem várias hipóteses de seleção de dimensões disponíveis e das potências a utilizar pelos equipamentos. Dentro das hipóteses apresentadas na brochura destes trituradores, o equipamento que melhor se adequa à trituração das placas de refugo devido às suas dimensões consideráveis é modelo DGS 1500. Este modelo tem associado um motor elétrico cuja potência

elétrica total é de 55 kW. O desenho simplificado que será utilizado doravante para representar ambos os trituradores, bem como as suas dimensões gerais encontram-se na Figura 5.6. A brochura do equipamento poderá ser encontrada em anexo.

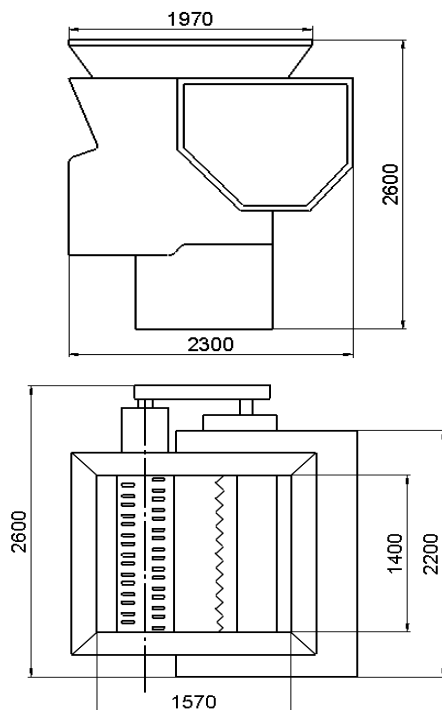


Figura 5.6 – Representação e dimensões gerais do triturador DGS 1500

5.2.4 Sistema doseador

O sistema doseador do novo *layout* proposto, será o responsável pela correta alimentação da cortiça nas frações requeridas, e terá uma influência considerável no rendimento final da implantação.

Após a trituração, o *broken* será guiado para o interior dos silos através de tapetes rolantes, de onde irá por gravidade entrar na tolva de alimentação do sistema doseador.

- Parafuso-sem-fim

O transportador escolhido para este sistema é do tipo parafuso-sem-fim. Como dito no subcapítulo 4.10.3, a base de funcionamento destes aparelhos é a rotação de uma estrutura helicoidal por via de um motor elétrico, que fará o material deslocar-se no sentido requerido.

Em relação à cortiça, existe um pequeno inconveniente. À medida que o fuso se vai desgastando, a fricção que surge entre o próprio e as paredes da conduta irá produzir algum pó adicional, contudo, a quantidade de pó produzido não justifica optar pela utilização de um sistema alternativo dadas as vantagens que deste tipo de transportador no controlo do caudal. É também de notar que estes equipamentos requerem pouca manutenção.

Este transportador não foi dimensionado, por não representar qualquer fonte de inovação ou de especial valor no contexto desta dissertação.

5.2.5 Silos

Os silos irão garantir a presença de material à entrada do parafuso-sem-fim, possibilitando uma alimentação constante e contínua aos restantes sistemas do processo. Para além disso, têm a função de servirem de *buffer*, permitindo realizar operações de manutenção sem cessar a produção da indústria. Para esta funcionalidade ser relevante e justificar o investimento inicial, as dimensões dos silos deverão garantir o volume de cortiça necessário para colmatar a paragem dos trituradores durante um certo período de tempo. Considerando o consumo diário de 50 toneladas de cortiça e a massa volúmica média do *broken* de 120 kg/m^3 , obtém-se em média 18 m^3 por hora de cortiça a transitarem para o secador e estabelecendo as frações de cortiça de alta qualidade e de baixa qualidade na proporção de 30% e 70% respetivamente (majorando assim as dimensões do silo), para a produção se manter durante 1 hora é necessário o volume do silo de refugo rondar os 12.6 m^3 .

Impondo um diâmetro de 3.5 metros e uma altura do corpo cilíndrico de 3 metros, obtém-se um volume de 28.9 m^3 , suficientes para manterem a produção durante cerca de 2 horas e 15 minutos. Se a este valor acrescentarmos o volume armazenado no cone da base do silo, cerca de 5 m^3 , o tempo total disponível por silo para efetuar as manutenções necessárias aos trituradores equivale a 2 horas e 45 minutos disponíveis, caso os silos estivessem cheios à sua máxima capacidade. Na Figura 5.7 apresenta-se a representação simplificada dos silos e as suas dimensões gerais:

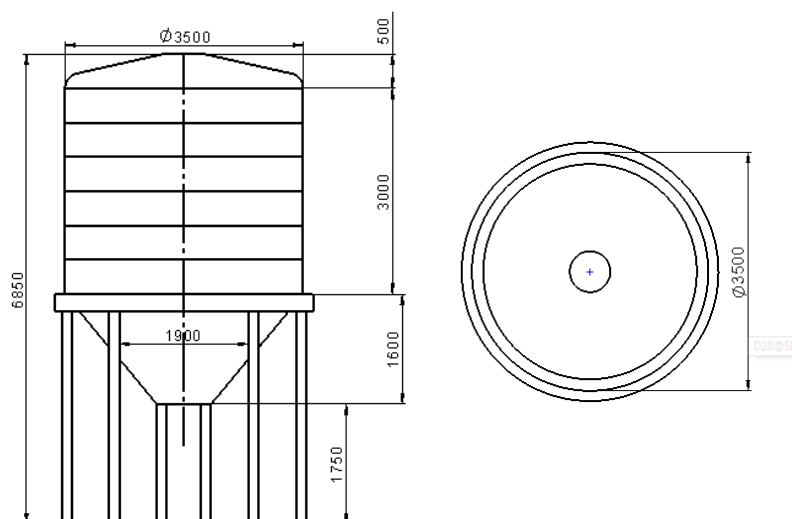


Figura 5.7 – Representação e dimensões gerais dos silos

5.2.6 Layout Final

Em suma, a solução final consiste na introdução de dois sistemas separados, ambos compostos pelo conjunto triturador, tapete, silo e transportador sem-fim. Serão também para cada sistema introduzidas válvulas desviadoras, mencionadas no subcapítulo 5.2.2. Para além disso, e no sentido de uniformizar a entrada de matéria-prima nos próprios trituradores, serão introduzidos dois transportadores vibratórios que irão dispersar a matéria-prima pela camara de corte, ajudando a evitar entupimentos à entrada dos trituradores. O transporte da cortiça dos trituradores para os silos será feito com recurso a um tapete rolante, evitando o transporte pneumático.

Os silos estão montados num patamar inferior ao nível dos moinhos e estes num patamar inferior aos transportadores vibratórios, tendo uma influência direta nos custos de transporte destes sistemas. A temática do aproveitamento topográfico será novamente abordada no subcapítulo 5.12.

Este sistema está representado na Figura 5.8.

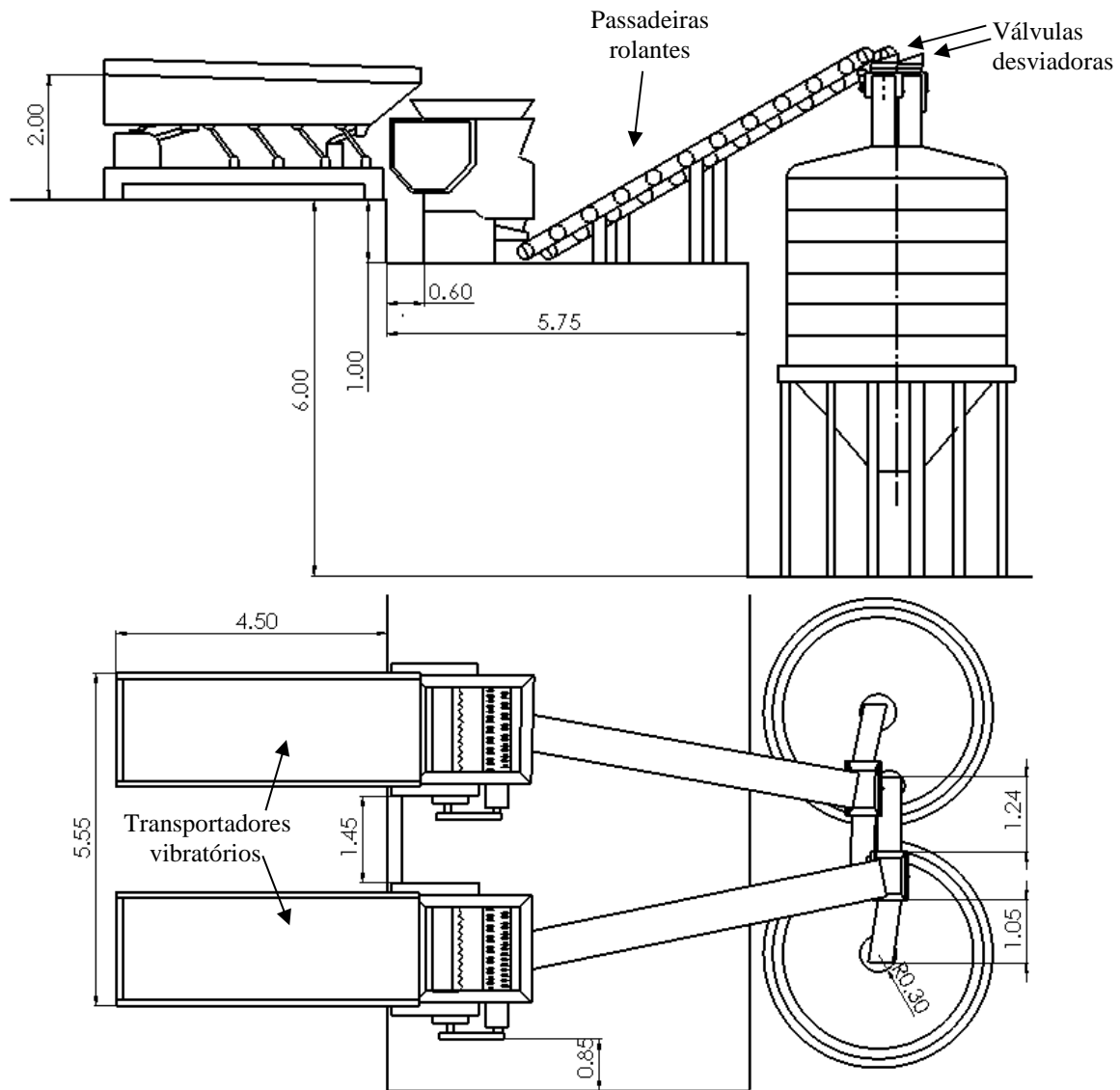


Figura 5.8 – Sistema de trituração primário

5.2.7 Mais valias do sistema proposto

Para além das vantagens descritas anteriormente, é possível encontrar algumas vantagens adicionais da aplicação do sistema de trituração com dois moinhos:

- Definição de parâmetros de funcionamento

Uma das tarefas com maior grau de dificuldade associada às grandes triturações de cortiça é a fixação dos parâmetros de funcionamento dos vários equipamentos do processo. Como dito no subcapítulo 5.1, esta dificuldade está na maioria dos casos associada às grandes flutuações existentes na matéria prima de entrada que impedem um estudo conciso dos diferentes *set-ups* possíveis para cada equipamento. A solução proposta irá colmatar este problema dado que a distinção entre as diferentes qualidades da matéria prima permite uniformizar as proporções das diferentes fontes de cortiça ao longo do tempo, reduzindo significativamente a necessidade de ajuste das máquinas. Esta solução permite que se realizem estudos sobre qual a proporção de refugo/aparas mais vantajosas economicamente, avaliando a relação entre a qualidade do produto final, a eficiência do processo e o preço associado à aquisição da matéria prima, permitindo aumentar a satisfação dos clientes e o rendimento global.

- Uniformidade do fluxo de matéria-prima

Através deste sistema, é possível obter um fluxo de cortiça relativamente constante ao longo do processo de trituração. Um fluxo constante irá novamente reduzir a necessidade de ajustes das máquinas e ao mesmo tempo estabilizar as variações de rendimento registadas na indústria tradicional. Para além disso permite controlar melhor as taxas de produção da indústria. Sendo possível prever com exatidão as quantidades a produzir por unidade de tempo.

- Ausência de transporte pneumático após o primeiro triturador

A redução na rede pneumática é uma mais valia energética para toda a indústria devido à redução do consumo energético da mesma, assim, retirar o transporte pneumático desta fase do processo apresenta uma vantagem adicional.

A cortiça é alimentada nos trituradores sem grande critério de limpeza ou de inspeção, podendo muitas vezes transportar pequenas peças metálicas incrustadas na matéria-prima. Estes pequenos objetos, em contacto com as lâminas de corte vão originar chispas ou faúlhas, que associadas ao fluxo de ar do transporte pneumático são potenciadoras de incêndios nas tubagens da rede pneumática e nos silos. Esta alternativa, sob o ponto de vista da segurança, apresenta-se como uma melhor solução.

5.3 Secagem

Como dito anteriormente, o processo de secagem é responsável pela correção dos níveis de humidade final dos granulados.

Na indústria tradicional, a secagem é por norma feita recorrendo a um só secador numa fase inicial do processo, sendo os restantes processos realizados com matéria-prima já seca. Esta opção construtiva apesar de economicamente viável, não se apresenta como ideal. Se os valores de humidade à saída destes equipamentos não forem os desejados, por exemplo no inverno, onde a humidade de cortiça apresenta os seus valores máximos, a matéria-prima precisará de passar mais tempo no interior do secador, impondo um limite de caudal a todo o processo subsequente. É, portanto, comum o *bottleneck* das triturações ser a capacidade máxima de processamento do secador. Havendo um só secador, não existe possibilidade de compensar ou de distribuir esse tempo adicional por mais do que um equipamento, agravando a situação.

Noutra perspetiva, o sobredimensionamento do secador para colmatar os picos de humidade também não é opção ideal, pois aumentar excessivamente o diâmetro ou o comprimento do tambor, irá consequentemente aumentar as perdas associadas à dissipação de energia térmica em todos os períodos de funcionamento da fábrica.

Um outro ponto de vista a considerar é a localização na sequência do processo em que a secagem se efetua. A instalação do secador numa fase inicial do processo implica a secagem de *broken*. As dimensões do *broken* são significativamente maiores quando comparadas com os granulados finais. Este fator afeta negativamente o aproveitamento da energia térmica disponibilizada, pois o fluxo de ar quente no interior do tambor irá incidir sobre uma menor área superficial da cortiça. Contudo, apesar da secagem do material com as suas dimensões mais reduzidas ser termodinamicamente mais eficiente, a implementação do secador após as duas triturações, nos *layouts* atuais, implicaria que se triturasse cortiça excessivamente húmida (prejudicial para os trituradores como será explicado posteriormente) e que a cortiça em recirculação proveniente das mesas densimétricas e do segundo peneiro estivessem sujeitas a mais do que uma passagem pelo secador, sendo que a sobre secagem é sinónimo de desperdício de energia e de perda de qualidade dos granulados. Assim sendo, a localização da operação de secagem na sequência do processo de trituração é um tópico cuja resposta não é absoluta. Cada solução apresenta vantagens e desvantagens, sendo que a contabilização dos prós e dos contras de cada uma é de difícil realização.

Quanto aos trituradores, são também eles um processo de secagem da cortiça. Ao ser fragmentada em grãos de dimensão inferior, a cortiça e o ar circundante aquecem, libertando algum vapor de água e reduzindo os níveis de humidade dos granulados. No processo tradicional, a secagem ocorre antes da trituração secundária, sendo que o valor definido pelo secador irá diminuir cerca de 2% até ao final do processo.

Em relação à trituração propriamente dita, ao longo dos anos, os profissionais da indústria corticeira concluíram que a humidade relativa da cortiça que permite obter melhores resultados na fase de trituração se encontra entre os 14 e os 16%, sendo que ao longo de quase todo o ano a cortiça à entrada do processo de apresenta com valores de humidade superiores aos descritos. Ao entrar nos trituradores com a percentagem de humidade ótima, a cortiça está suficientemente seca para não se moldar às ferramentas de corte, ou para formar aglomerados de matéria-prima, sendo relativamente mais fácil de triturar e por isso menos exigente para os trituradores. Simultaneamente, está dotada de propriedades elásticas que minimizam a produção de pó do processo, aumentando o rendimento da trituração.

A humidade final dos granulados desejável é cerca de 8 a 9%, sendo que na indústria tradicional este valor de humidade é praticamente definido após a primeira secagem. Assim, o *broken* irá ser introduzido nos trituradores seguintes abaixo da humidade recomendada. Esta situação leva a produção excessiva de poeiras e representa por isso um fator de diminuição da eficiência do processo.

Retomando um dos problemas mais recorrentes desta indústria, a definição de parâmetros de funcionamento dos equipamentos, os ajustes do secador também se apresentam como uma temática problemática e pouco exata. Atualmente, o controlo da secagem é feito através de leituras dos níveis de humidade da cortiça. Estas leituras são realizadas periodicamente, sendo o intervalo entre leituras compreendido entre 2 a 3 horas. Os resultados demoram por isso algum tempo a serem obtidos, decorrendo períodos prolongados até que o operador responsável pelo ajuste dos parâmetros do secador possa efetivamente tomar medidas de correção. Como dito várias vezes ao longo deste trabalho, o fluxo da cortiça apresenta muitas oscilações a nível de qualidade e quantidade, sendo este período excessivamente grande para garantir uma secagem eficiente ao longo do tempo. Para além disso, as medidas corretivas são à base de tentativa e erro, dependendo em grande parte da experiência do operador, podendo resultar em secagens incompletas, ou em gastos excessivos de energia.

5.3.1 Abordagem axiomática à problemática de ajuste dos parâmetros

Estabelecer os parâmetros mínimos de temperatura e de fluxo de ar no interior do tambor, é um passo fundamental para aumentar a eficiência energética da fábrica. O atraso notável entre retirar a matéria-prima do processo e a obtenção dos resultados, aliado com os períodos alargados entre medições, vão impossibilitar alcançar o objetivo final de otimização do processo.

Analisando a situação atual, e o que é pretendido alcançar, foram definidos os seguintes requisitos funcionais:

FR1- Secar os granulados

FR2- Inspeccionar a humidade dos granulados

Na indústria atual os FRs são assegurados através dos seguintes DPs:

DP1- Secador de tambor
DP2- Controlo do fluxo do ar
DP3- Controlo da temperatura do ar
DP4- Operador responsável pelo controlo qualidade

Obtendo a seguinte equação de projeto:

$$\begin{Bmatrix} \text{FR1} \\ \text{FR2} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} X & X & X & X \\ 0 & 0 & 0 & X \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \text{DP1} \\ \text{DP2} \\ \text{DP3} \\ \text{DP4} \end{Bmatrix} \quad 5.5$$

Este sistema apresenta um projeto redundante e desacoplável pois apresenta uma matriz de projeto trapezoidal-direita. (Gonçalves-Coelho et al. 2012)

A secagem dos granulados é influenciada por todos os parâmetros de projeto, sendo que estes por sua vez têm alguma influência uns nos outros, por exemplo, o fluxo de ar irá influenciar a temperatura do secador visto que um maior fluxo de ar resulta numa temperatura inferior, e que quando se reduz o caudal a temperatura irá aumentar. Estas relações formam um sistema complexo e não linear, que justifica o porquê da utilização de um processo de ajuste tão rudimentar como o de tentativa e erro utilizado na indústria tradicional. Na procura de uma solução alternativa à atual, os parâmetros de projeto foram questionados na tentativa de alcançar um melhor projeto (Teorema 5).

Começando pelo operador responsável pelos ajustes, a influência humana nos processos tem quase sempre uma incerteza e subjetividade associada, sendo que seria uma mais valia recorrer a um sistema automatizado de ajuste dos parâmetros. Este sistema teria de ser dotado de um método expedito de leitura dos níveis de humidade da cortiça e ser capaz de ajustar os parâmetros do secador consoante os valores obtidos.

- *Fourier transform near-infrared (FT-NIR) spectroscopy*

A espectroscopia com base em transformações de Fourier de ondas próximas da região infravermelha, é uma ferramenta que permite identificar e caracterizar vários tipos de compostos químicos. Esta baseia-se na emissão de feixes de luz com comprimentos de onda inferiores ao espectro visível. Ao incidir nos vários compostos e nas respetivas ligações químicas, a energia emitida será parcialmente absorvida. Através da conversão matemática da informação recebida, é possível criar um espectro que identifica através das oscilações do feixe original, os componentes presentes no material iluminado, tanto em qualidade como em quantidade. Desta forma, é possível quantificar a água presente na cortiça e conhecer de uma forma quase imediata a percentagem de humidade da cortiça.

Este método tem algumas aplicações ao nível de indústrias que processam granulados tal como a indústria do açúcar, do café e de alguns produtos farmacêuticos, bem como em indústrias

como a produção de chás, e de tabaco, que apesar de diferirem no formato da matéria-prima, lidam com processos idênticos de secagem.

Idealmente, seriam utilizados dois sistemas separados de medição, um à entrada do secador e outro à saída. Os valores medidos de humidade relativa à saída, bem como a diferença entre os dois valores da humidade, seriam introduzidos automaticamente num algoritmo de controlo computadorizado que através de um sistema eletrónico iria regular com base em referências passadas e em bases de dados, os parâmetros do secador.

Através das inovações de medição e de controlo descritas, obtiveram-se os seguintes DPs:

DP1- Secador de tambor

DP2- Controlo dos parâmetros de secagem através de um sistema integrado baseado em sensores espectroscópicos *FT-NIR*.

Surge então a nova equação de projeto:

$$\begin{Bmatrix} FR1 \\ FR2 \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} X & X \\ 0 & X \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} DP1 \\ DP2' \end{Bmatrix} \quad 5.6$$

A matriz de projeto da equação 3.4 representa um projeto desacoplável visto que a matriz é triangular superior. Do ponto de vista axiomático, ao eliminar DPs estamos a reduzir o número de parcelas de contribuição para o conteúdo de informação do sistema, não podendo, contudo, concluir sem realizar os estudos necessários que esta solução seja preferível à encontrada na indústria tradicional.

Atualmente não existem no mercado opções que visem a aplicação desta tecnologia a este tipo de matéria-prima, nem existe qualquer tipo de investigação ou de dados que apoiem a utilização deste tipo de espectroscopia na indústria corticeira. Estudos teriam de ser realizados para testar a viabilidade deste método e, se tal se verificasse, procurar perceber de que maneira os *outputs* dos aparelhos utilizados iriam refletir os níveis de humidade da cortiça.

Contudo, é uma alternativa interessante e cujos resultados iriam certamente contribuir para uma evolução muito positiva da indústria.

5.3.2 Divisão da secagem por fases

A utilização de um só secador apresenta alguns problemas descritos anteriormente, sendo o principal a facilidade com que a flutuação da humidade da cortiça para níveis superiores aos habituais pode ser sinónima de uma diminuição da produção diária de granulados. Sabendo das vantagens associadas à eficiência do processo e à manutenção dos trituradores a que a alimentação da cortiça com uma humidade relativa perto dos 15% está associada, a introdução de uma segunda fase de secagem surge como uma forte aposta na otimização do processo.

- Primeiro secador

A primeira fase de secagem seria na fase imediatamente posterior ao sistema de doseamento referido no subcapítulo 5.2.4. Após a obtenção da mistura final, esta seria seca tal como na indústria tradicional, sendo que a característica de diferenciação seria que o processo de secagem não iria procurar atingir os níveis finais pretendidos de humidade, mas sim a percentagem de humidade ótima de entrada da cortiça (14-16%) nos moinhos (trituradores secundários).

A cortiça seria então transportada para o primeiro peneiro e novamente triturada com a garantia de o processo de trituração estaria a decorrer com a matéria-prima nas condições que lhe garantem um maior rendimento.

- Segundo secador

O segundo secador seria adicionado após a segunda fase de trituração, e teria como objetivo corrigir a humidade dos granulados para a humidade final pretendida. Nesta fase, os granulados apresentar-se-iam com uma humidade relativa inferior aos 15% referidos anteriormente visto que, como dito na introdução deste subcapítulo, perderam alguma humidade durante a trituração. Outra vantagem destes sistemas é que aproveita a secagem natural que ocorre na segunda trituração como parte integrante do processo, sem deixar à mercê do acaso o valor final de humidade dos granulados. A correção final de humidade necessária rondará então os 7/8% para alcançar os valores requeridos pelos clientes.

- Eficiência de secagem

Uma das razões por ser preferida uma só fase de secagem, é o aumento do consumo energético por parte do segundo secador. Contudo, a secagem final, para além da quantidade reduzida de humidade que tem de retirar, é feita numa fase em que os granulados já se apresentam com dimensões muito reduzidas, aumentando a eficiência da secagem graças ao incremento da área de contacto com o ar. Fazendo um balanço energético, a energia conjunta utilizada nesta fase será até menor do que a requerida pelo processo tradicional dado o aumento da eficiência de secagem no segundo secador. É, no entanto, espectável um aumento da componente associada às perdas energéticas do tambor adicional.

- Flutuações na humidade da cortiça

A utilização de dois processos separados de secagem permite que haja uma compensação por parte do segundo secador no caso da primeira operação de secagem não garantir a extração requerida de água da cortiça. Esta capacidade irá resolver um dos problemas descritos anteriormente pois permite manter o fluxo de cortiça constante ao longo do tempo, independentemente das características de entrada da cortiça.

A situação oposta está também contemplada com este *layout*, pois caso a cortiça se apresente excessivamente seca à entrada do processo, por exemplo com uma humidade relativa muito próxima da humidade final requerida, a matéria-prima poderá ser desviada para um transportador pneumático localizado à entrada primeiro secador, possibilitando que este esteja desligado, e ser apenas seca na fase final do processo, onde as dimensões inferiores dos granulados irão garantir uma maior eficiência.

Assim sendo, o nível de humidade correto no final do processo estará a partida sempre garantido, permitindo concluir que a instalação do segundo secador apresenta vantagens consideráveis a nível do controlo total da humidade.

- Variação da humidade final consoante o cliente

Através da implementação do sistema de controlo de humidade através de sensores e espectroscopia *FT-NIR* descritos neste subcapítulo, associados aos dois secadores, o controlo da humidade irá tornar-se relativamente simples de gerir. Apesar do sistema associado ser bastante complexo, a nível prático o operador apenas terá de introduzir os valores desejados, e os ajustes serão feitos automaticamente e sem grandes implicações.

Assim sendo, tornar-se-á possível controlar com erros muito reduzidos a humidade à saída do processo, algo que irá diferenciar o produto a produzir das indústrias tradicionais, que apresentam flutuações consideráveis ao longo das várias estações do ano. Seria até possível de ajustar os níveis de humidade às especificações técnicas do cliente, algo inédito nesta indústria.

- Dimensões dos secadores

Quanto às dimensões do secador, estas foram estimadas com base na majoração das dimensões de projetos existentes, sendo necessário realizar estudos termodinâmicos mais rigorosos e em conjunto com profissionais de empresas produtoras destes equipamentos para alcançar as dimensões ideais. A ilustração, bem como as dimensões majoradas necessárias para os secadores estão representadas na Figura 5.9:

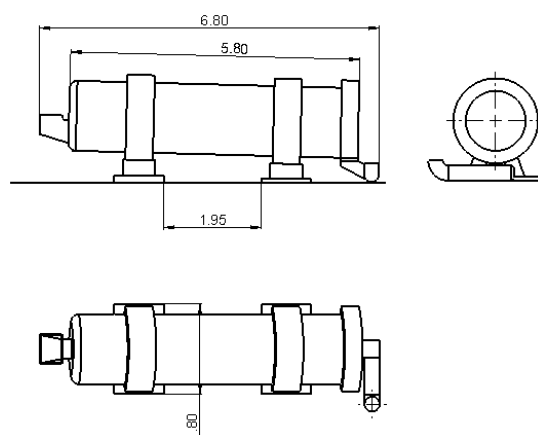


Figura 5.9 – Representação gráfica dos secadores de tambor

- Disposição dos secadores

O primeiro secador estará montado entre os dois silos de armazenamento de cortiça de maneira a minimizar os custos associados à construção e apoio das estruturas do transportador sem-fim. O segundo secador estaria colocado lado a lado com o primeiro, numa posição relativamente mais afastada para permitir um acesso sem constrangimentos na eventualidade de ser imperativo retirar o equipamento por razões de manutenção, garantindo margem de manobra, sem necessidade de desmontar o primeiro secador. A distância mínima entre os dois secadores foi então considerada como pelo menos o diâmetro máximo do secador mais um intervalo de segurança. A disposição dos secadores pode ser vista na Figura 5.10.

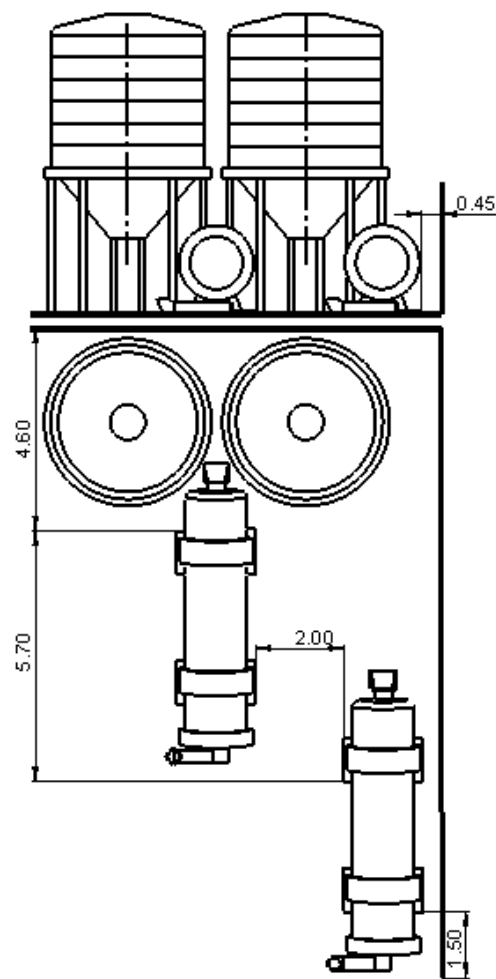


Figura 5.10 – Disposição dos secadores

5.4 Primeira Peneiração

A primeira peneiração dos granulados será feita após a primeira secagem. A cortiça com um teor de humidade próximo dos 15%, valor ótimo para ser triturada, é transportada pneumáticamente para um ciclone, sendo posteriormente introduzida no primeiro peneiro.

Através de uma avaliação das ofertas no mercado, considerando a manutenibilidade, a eficiência da separação, e o consumo energético, a empresa S&F GmbH destacou-se pelos seus peneiros vibratórios da série “AVS”. Contudo, após uma troca de ideias com a empresa, foi sugerida a alteração do tipo de peneiros a utilizar.

5.4.1 Peneiros oscilantes

Através do contacto com os profissionais da empresa, concluiu-se que optar por um peneiro oscilante ao invés de um peneiro vibratório seria uma mais valia a nível energético e a nível da eficiência da separação. Estes peneiros, ao invés de um movimento vibratório, funcionam à base da rotação de um motor excêntrico que os irá dotar de deslocações circulares. As características desta deslocação, em particular a maneira como distribui o material pela malha de separação, permitem uma redução na potência utilizada na ordem dos 40% para a mesma área de peneiração. Esta redução deve-se à natureza suave e constante dos movimentos da máquina, e também pelo facto de que os peneiros vibratórios serem normalmente dimensionados para indústrias muito mais exigentes tais como a separação de minérios ou de cerâmicos.

5.4.2 *S & F Oscillating screening machine ASM series*

A série ASM apresenta vantagens consideráveis em comparação com os peneiros utilizados na indústria atual. Desde logo, a existência de portas de acesso lateral às malhas dota estes equipamentos de uma capacidade de manutenção muito superior à dos peneiros convencionais, permitindo intervenções rápidas e localizadas, sendo possível substituir pequenas frações de cada nível ao invés da malha completa, uma exigência dos equipamentos correntes. Para além disso, os componentes mecânicos (rolamentos, molas, etc.) sujeitos a desgaste estão em posições de fácil acesso que permitem manutenções integrais do equipamento num espaço físico e temporal reduzido. Para além das vantagens energéticas referidas anteriormente, os peneiros rotativos S&F garantem eficiências de separação sensivelmente mais elevadas quando comparadas com os peneiros tradicionais e apresentam níveis de ruído e vibração extremamente baixos.



Figura 5.11 – S&F Oscillating Screening Machine (S&F GmbH, 2018)

- Dimensionamento do Peneiro

Em relação ao dimensionamento do peneiro oscilante, foi recomendado pela empresa uma escolha entre o modelo ASM 200 e 300. Dado que ambos são alimentados pelo mesmo motor de 2.2 kW, a variação do preço entre os dois equipamentos é relativamente pequena e o peneiro ASM 200 apresenta capacidades máximas já próximas do caudal requerido, a solução que garante a separação mais eficiente e sem problemas de sobrealimentação é o modelo ASM 300. A brochura do equipamento poderá ser encontrada em anexo.

5.4.3 S & F Oscillating screening machine ASM 300

O equipamento escolhido terá 2 malhas separadoras que irão separar a cortiça em 3 grupos diferentes:

- Superior a 35 milímetros
- 25 a 35 milímetros
- Inferior a 25 milímetros

Estes intervalos poderão ser facilmente ajustados através da troca das malhas de separação, procurando garantir uma divisão homogênea do caudal entre os três moinhos que serão responsáveis pela segunda trituração.

Como extras no momento de adquirir este equipamento foram sugeridos ainda pela empresa o *design* à prova de pó, que consiste na instalação de bocais ao longo do equipamento (onde serão acoplados sistemas de aspiração do ar), bem como a utilização de um sistema de limpeza das malhas que se baseia na introdução de bolas de plástico entre os vários níveis do peneiro, que com as oscilações irão embater em pedaços de cortiça presos às redes.

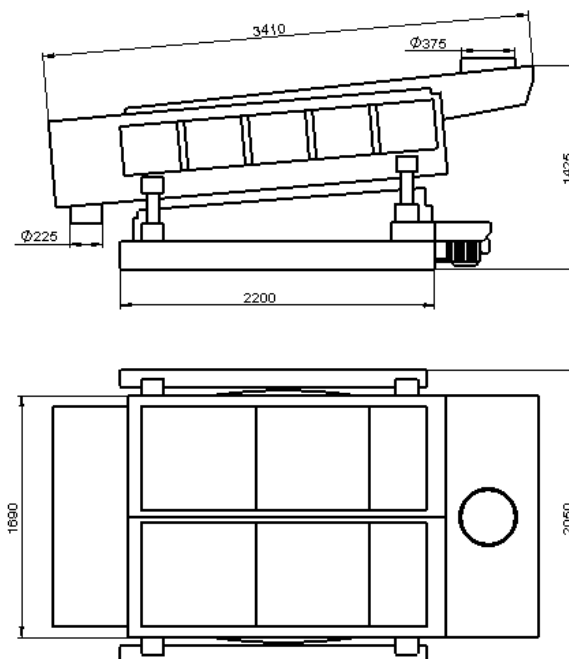


Figura 5.12 – Representação e dimensões gerais do peneiro ASM 300

5.5 2ª Fase de Trituração

A segunda fase de trituração encontra-se imediatamente após o peneiro descrito no subcapítulo anterior. Esta é responsável pela redução do *broken* para o que serão as várias granulometrias a produzir, sendo a fase mais crítica na obtenção das propriedades geométricas finais do produto.

Apesar de ser um processo que requer máquinas menos robustas, a segunda trituração exige equipamentos com potências tão, ou até mais elevadas, que as utilizadas nos trituradores iniciais, pois a diferença relativa entre o tamanho da matéria-prima à entrada e à saída é maior.

5.5.1 Moinho Universal

Em relação à tecnologia escolhida para a segunda fase, o processo tradicional apresenta resultados bastante satisfatórios sendo que não existe a necessidade de alterar os equipamentos responsáveis pela operação. Os moinhos universais ou centrífugos tipicamente utilizados tem a vantagem de serem compactos, robustos e fiáveis. Apresentam ainda uma boa capacidade de manutenção proporcionada pelo fácil acesso à câmara de corte e às geometrias dos crivos e das lamínas, que são de fácil substituição.

Após contacto com a empresa TEQUIMAQ, a gama de potências apresentada e comentada como mais comum no mundo corticeiro varia entre os 55 e os 110 kW consoante a produção e o número de moinhos disponíveis. Assim sendo, foram escolhidos três moinhos com 75 kW para colmatar as exigências da segunda fase de trituração.

Infelizmente a empresa não partilhou detalhes construtivos nem dimensionais relativamente a estes aparelhos, sendo que as dimensões apresentadas na Figura 5.13 foram estimadas.

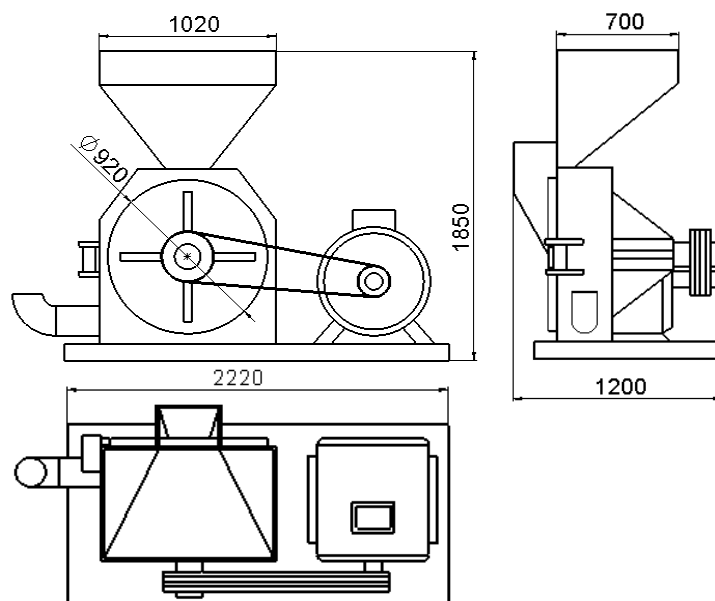


Figura 5.13 – Dimensões gerais do moinho universal

5.5.2 Alimentação da cortiça e disposição dos moinhos

A alimentação da cortiça para o interior destes moinhos será feita por gravidade, diretamente do peneiro descrito no subcapítulo anterior, evitando novamente o transporte pneumático. Para o fazer, há a necessidade de criar uma estrutura colocada num patamar superior aos moinhos, onde será montado o peneiro, e ligar os bocais do mesmo à tolva de alimentação dos moinhos. Esta tubagens serão tubos de construção metálica que irão ligar ao peneiro oscilante através de mangas de um material polimérico flexível.

A distância entre os moinhos é um fator muito importante a considerar devido à necessidade de manutenção que estes equipamentos apresentam, sendo necessário garantir espaço suficiente para a abertura da porta de acesso à câmara de corte, bem como espaço para o operador poder realizar as operações de manutenção de rotina no restante equipamento.

Na Figura 5.14 está representado o esquema de montagem do sistema peneiro e moinhos e as distâncias entre as várias máquinas. Em anexo encontra-se a representação deste sistema associado ao sistema de secagem do capítulo anterior.

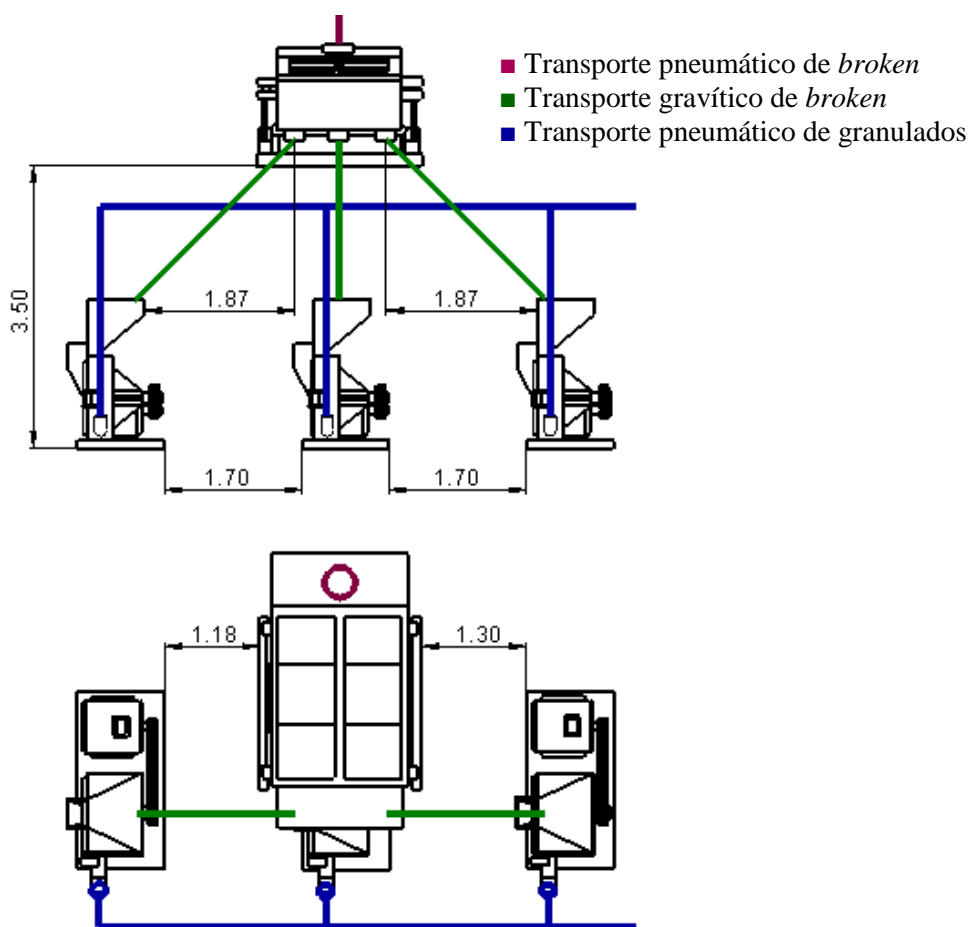


Figura 5.14 – Esquema de montagem do primeiro peneiro e moinhos

A cortiça, após ter sido triturada, será transportada através de transporte pneumático para o segundo secador, e deste para a segunda fase de peneiração.

5.6 Segunda Peneiração

Na indústria tradicional, a segunda peneiração é feita através da utilização de *Rotexes*. Estes aparelhos, apesar de extremamente eficientes, apresentam uma limitação no que toca à facilidade de manutenção, visto que as malhas responsáveis pela separação dos vários granulados estão montadas em série. Este detalhe construtivo implica que para a troca de uma só malha de separação, todas as que a antecedem tenham de ser retiradas. Para além disso, a sobreposição das várias camadas dificulta a inspeção visual dos níveis inferiores e consequentemente a deteção de problemas.

5.6.1 Soluções alternativas

- *APEX*

Uma solução para os problemas anteriormente identificados é o peneiro industrial *APEX* (Figura 5.15). Este tipo de peneiro, desenvolvido pela marca *Rotex*, tem para além das vantagens associadas aos peneiros tradicionais descritas no subcapítulo 4.7.1, características que vêm colmatar a falta de manutenibilidade.

O *APEX* consiste num aparelho em quase tudo idêntico a um *Rotex* comum, igualmente dotado de um mecanismo que impõe um movimento circular num dos extremos do aparelho, mas que na sua estrutura de base foram incluídas aberturas de acesso às várias malhas que o constituem. Desta maneira, é possível aos operadores terem acesso às redes de separação sem haver a necessidade de desmontar toda a carcaça do aparelho.



Figura 5.15 – APEX™

Ao invés da malha de grandes dimensões utilizada no *Rotex*, esta máquina apresenta várias divisões ao longo do seu comprimento, o que possibilita uma troca localizada das redes que irá consequentemente aumentar a eficiência do aparelho pois pequenas fissuras nas malhas, que são muitas vezes ignoradas, deixariam de ser um problema de resolução demorada e dispendiosa.

- *Tumbler screener* – Peneiro rotativo centrífugo

Outra solução possível para a segunda fase de peneiração é a utilização de peneiros rotativos centrífugos, equipamentos caracterizados pelas suas estruturas metálicas oscilantes de formato cilíndrico. A matéria-prima é introduzida no centro da estrutura e, através de movimentos elípticos que se desenvolvem nos vários planos cartesianos, é transportada para as extremidades da máquina. Estes equipamentos apresentam vários níveis, cada um separado com redes de separação granulométrica, que irão separar o material ao longo do seu percurso. Estas malhas associadas aos movimentos característicos destes aparelhos permitem eficiências de separação perto dos 99%.

A nível de manutenção, estão dotados de uma independência no acesso aos vários níveis, podendo o operador aceder a cada malha sem necessitar de retirar componentes associados aos níveis adjacentes. Isto torna estes equipamentos extremamente acessíveis para revisões de rotina e para operações de substituição de malhas danificadas.

Devido à dinâmica associada aos seus movimentos e ao valor inferior dos momentos polares de inércia em relação aos aparelhos apresentados anteriormente (*ROTEX* e *APEX*), os peneiros rotativos requerem potências inferiores para a mesma área de peneiração, sendo mais eficientes a nível energético. Por estas mesmas razões, eficiência energética e manutenibilidade, os peneiros rotativos foram tidos como a melhor opção para o projeto da unidade de trituração de cortiça, apresentando-se como uma solução construtiva inovadora do processo.

5.6.2 *GKM - KTS Tumbler Screening Machine*

Atualmente, existe no mercado alguma variedade de peneiros rotativos disponíveis, produzidos por várias empresas reconhecidas no mundo industrial. Após uma pesquisa cuidada das várias hipóteses, e de uma fase de investigação e análise dos vários peneiros encontrados, o modelo KTS da empresa alemã GKM (Figura 5.16) destacou-se como sendo ideal para o caso concreto de peneiração de cortiça.



Figura 5.16 – *GKM - KTS Tumbler Screening Machine*

- Exemplo da peneiração de poliestireno expandido

A dimensão reduzida do mercado de granulado de cortiça a uma escala global não justifica o investimento por parte dos grandes produtores de máquinas de produção industrial em aparelhos especializados para esta indústria. Assim sendo, a procura de soluções inovadoras e otimizadas terá de ser feita recorrendo a aparelhos e a estudos realizados no âmbito de outros tipos de matéria prima.

Após contacto com a GKM, e de uma breve discussão com o seu departamento comercial, foi sugerido aplicar ao caso da cortiça as recomendações feitas para a peneiração de poliestireno expandido (

Figura 5.17). Este material, que é um plástico celular rígido, tem uma densidade relativamente baixa e apresenta dimensões de grão entre os 0.5 e os 3 milímetros. Estas características permitem fazer a ponte entre os estudos já realizados e o caso concreto da peneiração dos granulados.

A GKM trabalha com um número considerável de produtores deste material com vista a otimizar a separação das várias granulometrias. Neste sentido, desenvolveram alguns estudos que permitiram concluir que, na separação de materiais leves, uma baixa aceleração das partículas permite alcançar resultados superiores a nível da eficiência da separação. Recomendam então que para a peneiração destes materiais, seja escolhida a gama “*Low-frequent Vibratory Tumbler Screener KTS*”.



Figura 5.17 – Poliestireno expandido granulado

- Movimento rotativo

É do conhecimento dos produtores destes aparelhos que a peneiração manual é o método mais eficiente de separação de partículas, maioritariamente devido à suavidade das acelerações que o ser humano consegue impor ao peneiro. Os movimentos destes peneiros não são impostos por motores vibratórios, mas sim por mecanismos de biela-manivela que irão dotar estas máquinas de deslocamentos nas três dimensões. Estes movimentos criam uma dinâmica semelhante à imposta pelos operadores de peneiros manuais, sendo um fator muito importante no aumento da eficiência da separação.

- Número de *decks*

Um dos principais fatores para a escolha deste aparelho relativamente ao *APEX* e aos peneiros rotativos de marcas concorrentes é a possibilidade de instalar 6 níveis de separação. O número de *decks* existentes irá ditar o número máximo de separações possíveis de realizar. A cada nível existirão duas malhas semicirculares e simétricas que irão limitar a passagem para o nível inferior aos grãos com dimensões superiores às do espaçamento das redes metálicas.

A GKM é atualmente das únicas empresas que permitem obter 7 granulometrias diferentes na mesma máquina. Desta forma é possível fazer toda a separação de cortiça e garantir a alimentação das mesas densimétricas através de uma só separação, e um só aparelho.

O primeiro nível do peneiro, separa os granulados cujas dimensões são superiores a 7 milímetros, direcionando-os pneumaticamente para a etapa de retrituração. Os níveis seguintes são responsáveis pelos granulados 5-7, 3-5, 2-3, 1-2 e 0,5-1. O último nível do peneiro, estando destinado a receber granulados com dimensões inferiores a 0.5 milímetros, é diretamente enviado, através de transporte pneumático, para os filtros de ar presentes no exterior do edifício da fábrica.

- Dimensionamento do peneiro

Uma estimativa majorada da quantidade de granulado de cortiça a processar por parte do peneiro rotativo nas condições normais de funcionamento da implantação industrial, dada a taxa de produção requerida, é de 18 metros cúbicos por hora, quantidade que implicaria que a totalidade da cortiça triturada fosse aproveitada e que não houvesse qualquer pó produzido.

Foi estabelecido contacto com a GKM com o intuito de melhor entender se estes aparelhos teriam cadência necessária para o caudal pretendido da indústria. Como dito anteriormente foi feita uma comparação com o poliestireno expandido e utilizado um exemplo de uma venda passada da GKM para uma empresa alemã de separação de cortiça. Deste contacto surgiram as taxas de alimentação máximas possíveis de alcançar por estes equipamentos consoante o diâmetro total das malhas de peneiração como se pode ver na Tabela 5.3.

Tabela 5.3 – Capacidade de separação de cortiça consoante o modelo do peneiro GKM KTS

Referência	$m^3 / hora$
KTS 2600	30
KTS 2400	25
KTS 2000	15
KTS 1600	10
KTS 1200	6

Com base nas informações cedidas pela GKM, o peneiro indicado para a aplicação na trituração de cortiça será o peneiro KTS 2400.

5.6.3 GKM – KTS 2400

Para além das vantagens a nível de manutenção destes peneiros, o modelo KTS 2400 é alimentado por um motor de 5.5 kW, que quando comparado com os 4.0 kW utilizados por um *Rotex* tradicional, pode parecer um incremento considerável de energia, contudo, para as taxas de produção requeridas, as indústrias tradicionais utilizam dois destes aparelhos. Desta maneira, há uma poupança de 2.5 kW nos gastos totais de energia da implantação.

Na Figura 5.18 encontra-se a representação gráfica e as dimensões gerais do peneiro. A brochura do equipamento poderá ser encontrada em anexo.

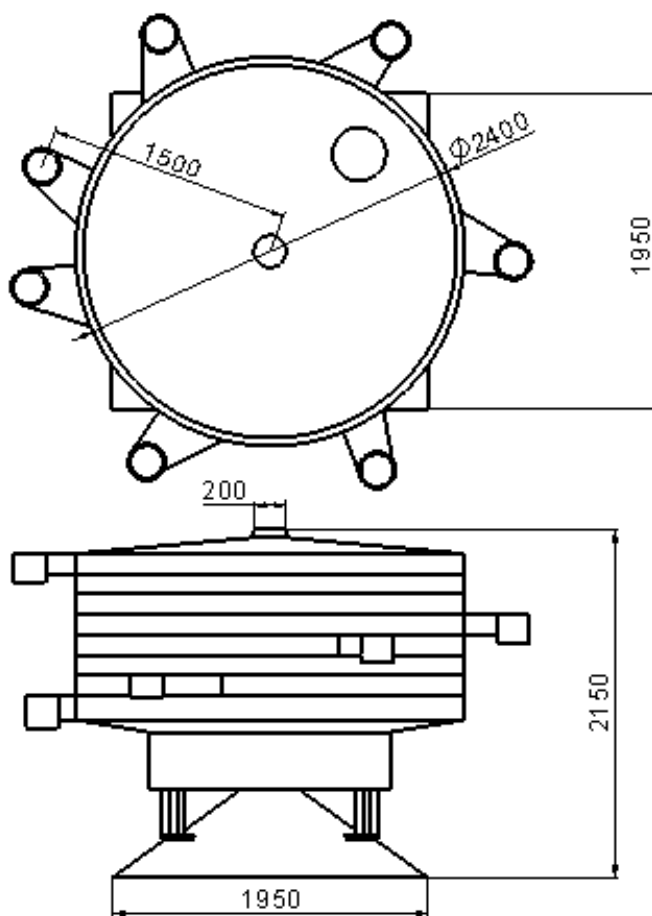


Figura 5.18 – Representação e dimensões gerais do Peneiro GKM KTS 2400

5.7 Separação Densimétrica

5.7.1 Variabilidade da eficiência das mesas

Como introduzido no subcapítulo 4.8, a separação densimétrica é em muito responsável pela definição do preço final a que os granulados serão vendidos, tornando-se por isso uma das fases mais críticas e de maior importância do processo. Os compradores de granulados valorizam a

uniformidade da matéria-prima que adquirem, algo que só é possível se as mesas densimétricas estiverem a funcionar em condições favoráveis a que isso aconteça.

Na indústria tradicional, a variação existente no caudal e na qualidade da cortiça (que remonta da primeira trituração) faz oscilar na segunda peneiração o volume dividido de cada granulometria por unidade de tempo. Como cada mesa densimétrica processa apenas um intervalo granulométrico, são visíveis nestes equipamentos variações na taxa de alimentação de cortiça. Estas variações são nefastas para a eficiência global das máquinas devido à influência negativa que têm nos vários parâmetros de ajuste dos equipamentos:

- Caudal de ar

O funcionamento das mesas baseia-se, entre outros, no fluxo de ar no sentido ascendente com o intuito de fluidizar os granulados. A definição deste parâmetro é bastante sensível à quantidade de cortiça presente na mesa. Havendo poucos granulados no tabuleiro, o caudal de ar torna-se exagerado e vai causar instabilidades no processo, levando grãos leves a serem direcionados para a zona dos pesados. Havendo excesso de cortiça no tabuleiro da mesa, o caudal de ar não será suficiente para fluidizar todo o material, fazendo com que a estratificação por densidade não ocorra eficientemente.

- Vibração da mesa

Os materiais mais pesados, graças à fluidização imposta pelo ar, irão formar um estrato junto do tabuleiro da mesa, e serão guiados pelos sulcos do tabuleiro do equipamento no sentido ascendente. Ao mesmo tempo, os materiais leves ascendem para o topo da camada de materiais pesados, e graças a inclinação da mesa, deslizam por gravidade para as zonas inferiores da mesa. A vibração da mesa ditará a eficácia do transporte da cortiça para o topo do tabuleiro. A definição da vibração relaciona-se com a quantidade de cortiça presente, e será também influenciada pelas suas flutuações. A variabilidade descrita irá criar a necessidade de ajustes constantes do mecanismo excêntrico responsável pela vibração.

- Ângulos de inclinação transversal β e longitudinal α (Figura 5.19)

A inclinação transversal da mesa, definida pelo ângulo β , dita o maior ou menor tempo de separação, ou seja, define a velocidade de avanço da cortiça ao longo do tabuleiro. Uma baixa inclinação poderá levar à acumulação da cortiça no tabuleiro e impossibilitar uma boa separação. O excesso de inclinação fará com que a cortiça seja direcionada para os bocais antes de ter ocorrido a separação. A definição da inclinação vai depender fortemente da velocidade de alimentação, sendo que a sua oscilação vai de novo afetar a eficiência de separação.

A inclinação longitudinal da mesa irá influenciar o ângulo de incidência do ar nos grãos de cortiça e afetar a facilidade de deslocação das partículas mais leves no topo do estrato de materiais

pesados. Esta inclinação é definida pelo ângulo α , e será responsável por definir os intervalos de densidade presentes em cada bocal. A variação da qualidade da cortiça irá ter uma influência negativa nas funções desempenhadas por este parâmetro, e irá aumentar a variabilidade dentro de cada intervalo. (Dodbiba & Fujita, 2015)

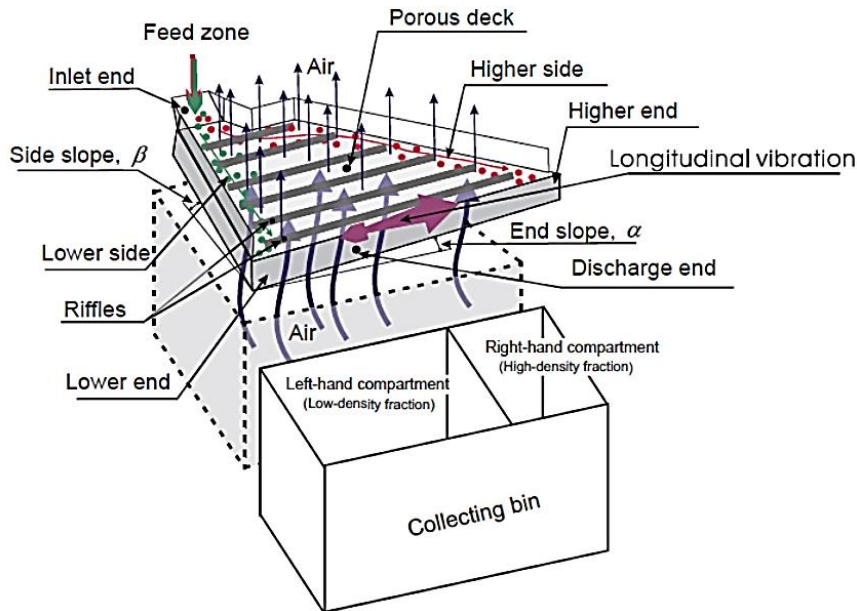


Figura 5.19 – Representação esquemática de uma mesa densimétrica (Dodbiba & Fujita, 2015)

- Dependência dos parâmetros

Para além das variações referidas anteriormente, e como agravante dos problemas descritos, os próprios parâmetros vão ter dependências entre si, por exemplo, um maior fluxo de ar requer, por norma, uma menor inclinação longitudinal do tabuleiro, não havendo independência na definição de ambos. Assim sendo, as mesas são mecanismos extremamente complexos cujos parâmetros não são de fácil definição, requerendo do operador muitos anos de experiência e várias tentativas para alcançar um *set-up* adequado às características dos granulados. A necessidade de ajuste constante que surge devido à variabilidade da matéria-prima torna-se inviável dada a complexidade de atuação nestes parâmetros.

- Intervalos de densidade variáveis

Por último, é importante referir que a variação da qualidade da cortiça na indústria tradicional, fará com que a percentagem de cortiça proveniente de cada um dos três tipos qualitativos de matéria-prima presentes no tabuleiro oscile com o tempo. As mesas têm bocais que direcionam a matéria-prima consoante o seu peso específico, contudo, se todo o material presente no tabuleiro for mais pesado (propriedade comum no caso de se triturar apenas refugo) a separação, apesar de relativamente precisa, não é exata, pois existe um incremento global dos intervalos de densidade da

máquina. Isto leva a que o *output* das mesas densimétricas oscile, apesar dos parâmetros do equipamento estarem bem definidos.

5.7.2 Influência do controlo da alimentação das fases anteriores do processo

Apesar de na indústria tradicional, a alimentação constante da cortiça ser uma realidade inexistente, as decisões e as ideias que foram aplicadas ao longo do capítulo 5, particularmente na primeira fase de trituração, vieram procurar solucionar este problema.

Através do uso da Teoria Axiomática e da aplicação de um raciocínio crítico face aos problemas das fábricas atuais, foram feitas modificações nos estágios iniciais do processo que estão a apresentar-se como mais valias em fases posteriores. A variabilidade da cortiça é, como descrito em cima, um fator originário de várias dependências nos ajustes dos parâmetros das mesas. As melhorias impostas pelo novo projeto permitiram amenizar essa fonte considerável de incerteza no que toca ao processo densimétrico. Em suma, a procura de soluções recorrendo a TA permitiu eliminar a variabilidade do caudal e da qualidade da cortiça, ou pelo menos reduzi-las, fazendo com que o projeto atual se apresentasse com dependências menos notáveis entre os vários equipamentos e sistemas, que segundo o raciocínio axiomático é uma mais valia.

5.7.3 Abordagem axiomática à problemática de ajuste dos parâmetros

Apesar de haver uma melhoria significativa no controlo da qualidade e quantidade de cortiça ao longo do processo, ainda não é possível garantir que o fluxo de cortiça chegará às mesas de uma maneira contínua e uniforme. Para além disso, a problemática da definição de parâmetros, dada a sua natureza complexa, ainda é algo a procurar melhorar.

Recorrendo à Teoria Axiomática, os seguintes FRs foram definidos:

- FR1- Separar as várias qualidades da cortiça
- FR2- Ajustar os parâmetros da mesa

As respostas aos FRs por parte da indústria tradicional resumem-se aos seguintes DPs:

- DP1- Mesas Densimétricas
- DP2- Mecanismos de controlo dos parâmetros

Resultando na seguinte equação de projeto:

$$\begin{Bmatrix} \text{FR1} \\ \text{FR2} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} X & X \\ 0 & X \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \text{DP1} \\ \text{DP2} \end{Bmatrix} \quad 5.7$$

O projeto atual é um projeto desacoplável. Contudo, é conhecida a dificuldade em definir os parâmetros anteriormente referidos. Para além desta consideração, e apesar das alterações feitas, as flutuações do caudal da cortiça não estão na sua totalidade controladas visto que uma falta

momentânea de granulados nas mesas irá reincidir no problema de afinação dos equipamentos. Alcançar uma solução que melhorasse estas situações seria uma mais valia.

De acordo com o Teorema 15, ao repensar o processo de separação densimétricas, foram definidos com base nos problemas encontrados dois requisitos funcionais adicionais:

FR3- Definição de *set-ups* fixos consoante os requisitos da fábrica

FR4- Controlar o caudal de granulados nas mesas

O controlo dos parâmetros é feito através de ajustes manuais realizados pelo operador do equipamento. Estes ajustes, estando sujeitos ao erro humano, irão variar entre afinações consecutivas. Mesmo que o operador pretenda estabelecer um *set-up* idêntico ao utilizado anteriormente, a incerteza e a sensibilidade elevada dos mecanismos fazem com que este não tenha uma noção clara de que parâmetros introduziu. Um painel de controlo associado a mecanismos eletrónicos de ajuste dos parâmetros seria uma solução que iria reduzir este problema. A dependência da definição dos parâmetros da destreza dos operadores cessaria de existir, sendo substituída pela introdução de valores concretos num painel que iria ajustar as mesas densimétricas para a posição requerida. A garantia dada por estes sistemas de que os parâmetros se encontram em posições idênticas mesmo após várias afinações consecutivas, permitirá realizar estudos sobre o comportamento das mesas com base na comparação do *output* obtido com os parâmetros definidos e com o tipo de matéria-prima introduzido. Com o passar do tempo, e através de várias experiências, existirá a possibilidade de serem definidos *set-ups* ideais consoante a proporção de refugo/aparas utilizada e para diferentes caudais de cortiça, assegurando assim a satisfação do FR3.

Para garantir um fluxo constante de cortiça nas mesas densimétricas, tal como anteriormente, recorreu-se ao Teorema 24, em concreto a um *buffer* com uma válvula controladora para satisfazer o FR4. Estando o buffer cheio, a válvula abre, deixando a cortiça fluir para a mesa densimétrica. A partir do momento em que o nível de cortiça alcance o valor mínimo admissível, a válvula fecha e a mesa densimétrica é posta em *stand-by*, poupando energia associada ao fluxo de ar e à vibração, aguardando até que a quantidade de cortiça seja novamente suficiente para recomeçar o processo. Obtêm-se assim dois novos parâmetros de projeto:

DP3- Sistema de controlo eletrónico dos parâmetros

DP4- *Buffers* sobre as mesas

A equação de projeto 5.8 foi obtida:

$$\begin{Bmatrix} \text{FR1} \\ \text{FR2} \\ \text{FR3} \\ \text{FR4} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} X & X & 0 & 0 \\ 0 & X & 0 & 0 \\ 0 & 0 & X & 0 \\ 0 & 0 & 0 & X \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \text{DP1} \\ \text{DP2} \\ \text{DP3} \\ \text{DP4} \end{Bmatrix} \quad 5.8$$

Através da matriz de projeto, obtêm-se, tal como na equação original, um projeto desacoplável. Esta nova solução, apesar de mais complexa, irá dotar o sistema de separação

densimétrico de uma capacidade de gestão autónoma do caudal imposto nas mesas, associada a um controlo regular e previsível dos parâmetros das mesmas, sendo por essas razões considerado um projeto superior comparativamente ao tradicional.

5.7.4 Mesas densimétricas Cimbria

Após uma pesquisa do mercado de mesas densimétricas, houve uma marca de equipamentos que se destacou por já trabalhar atualmente com algumas fábricas de granulados de cortiça em Portugal. As mesas densimétricas Cimbria representam uma atualização e otimização das mesas habitualmente encontradas na indústria por vários motivos:

- Controlo Caudal

Através da definição do DP4 (*buffer* sobre cada mesa) surgiu a necessidade de introduzir no processo um novo sistema, com alguma complexidade, que controlasse o caudal de entrada de cortiça na máquina. A empresa Cimbria, ciente das vantagens de um controlo de caudal na separação densimétrica, apresenta como um extra disponível no momento de aquisição dos equipamentos um *buffer* com um sistema de controlo integrado. Os *buffers* têm na sua estrutura três sensores de controlo de nível, que irão dar continuidade, aumentar ou interromper a alimentação da cortiça para o tabuleiro. A alimentação é por sua vez feita através de uma placa vibratória controlada por eletromagnetismo ligada a um funil que ditará a entrada da cortiça na mesa (Figura 5.20). Estes novos componentes irão permitir alcançar um controlo mais rigoroso do processo densimétrico, possibilitando a otimização dos parâmetros e, como consequência, da eficiência da separação.



Figura 5.20 – Sistema de doseamento (esquerda) e Buffer (direita) (Cimbria, 2018a)

- Ajuste de parâmetros

Existe a possibilidade de adquirir também como um extra destes equipamentos um controlador eletrónico integrado dos parâmetros das mesas. A interface do próprio (Figura 5.21) é de relativamente simples compreensão e os ajustes fáceis de fazer, baseando-se em percentagens da capacidade máxima da máquina no que toca ao fluxo de ar, na definição dos ângulos de inclinação

- Base do tabuleiro e utilização de pinos de estratificação

- O tabuleiro das mesas é formado por uma fina rede metálica cuja dimensão dos orifícios permite a passagem do ar proveniente dos ventiladores, sem a queda do material a processar. No caso dos equipamentos da CIMBRIA, estas redes são compostas por arame quadrado que irá aumentar a tração da malha nos granulados e aumentar a eficiência da separação. Para além disso, na zona inicial do processo, são instalados pinos de estratificação (Figura 5.22) que irão agitar as partículas de cortiça na fase inicial, acelerando o processo de estratificação por massa volúmica.

- Sendo a cortiça uma matéria-prima que apresenta uma tendência muito grande em produzir pó, a vibração imposta pelo tabuleiro, bem como a fricção entre os vários grãos de cortiça levará a que este processo necessite de um sistema de aspiração.

Figura 5.23 – Cobertura de aspiração de pó (CIMBRIA,

5.7.5 Dimensionamento do equipamento

A característica fundamental na escolha da dimensão da máquina a adquirir é o fluxo de granulado expectável. Partindo do fluxo horário de cortiça de 18 m^3 apresentado no peneiro, e assumindo que este os distribui igualmente entre as 5 mesas densimétricas, poderíamos concluir que o fluxo de granulados rondaria, os 3.6 m^3 horários por mesa. Contudo, é sabido que nas triturações tradicionais, o rendimento da cortiça pode chegar a rondar valores inferiores a 50% e que a cortiça que efetivamente chegará às mesas densimétricas não representará a totalidade dos 18 m^3 . Assumindo um rendimento do processo até este ponto (duas triturações, duas secagens, peneiração e despoeiramentos) de 70% e uma massa volúmica média dos granulados a rondar os 100 kg/m^3 , obtém-se o valor final majorado de 250 kg de cortiça por hora a serem processados em cada mesa densimétrica. Sabe-se, no entanto, que a produção dos granulados não é feita em igual quantidade para todas as granulometrias, sendo por isso aconselhável optar por adquirir máquinas com uma capacidade de produção acima deste valor.

Através do contacto com um especialista da marca, para um caudal mínimo recomendado de 150 kg/hora e um caudal máximo de 300 kg/hora, foi debatida a melhor opção para satisfazer as necessidades da fábrica, concluindo-se que seria o modelo GA 210 (Figura 5.24).



Figura 5.24 – CIMBRIA Gravity table GA210 (CIMBRIA, 2018b)

Associados, como descrito anteriormente, estariam os extras: *buffer* com controlo de alimentação (*Intake pre-storage hopper*); o alimentador eletromagnético (*Electro-magnetic feeder*); o sistema de aspiração (*Full dust hood*); o funil de alimentação (*Vibrating discharge trough for light products*); e por último, o controlador eletrónico (*electronic control panel*), visíveis na figura anterior.

- Dimensões gerais e disposição dos equipamentos

A mesa densimétrica escolhida apresenta como dimensões os valores descritos no esquema simplificado representado na Figura 5.25. A brochura do equipamento poderá ser encontrada em anexo.

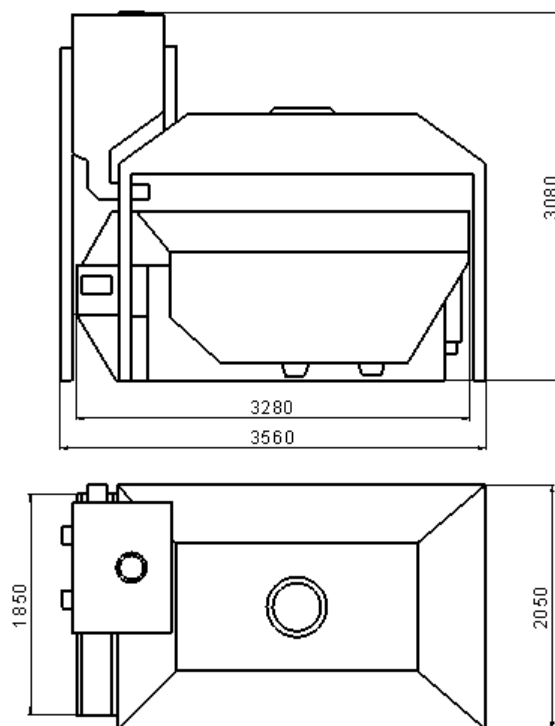


Figura 5.25 – Representação gráfica e dimensões gerais da mesa densimétrica CIMBRIA GA210

As mesas densimétricas seriam instaladas num nível imediatamente abaixo do peneiro rotativo descrito no subcapítulo 5.6.3. Este peneiro apresenta-se como um equipamento de extrema versatilidade pois possui uma capacidade de direcionar os seus bocais e, por conseguinte, a cortiça em qualquer direção ao longo do seu perímetro, sendo os bocais de saída ajustáveis consoante as necessidades da fábrica.

Para garantir que a cortiça flui sem interrupções pelas condutas de ligação entre o peneiro e o *buffer* das mesas, dado que este transporte será feito por gravidade, uma inclinação mínima das tubagens deverá ser garantida. As cinco mesas densimétricas serão iguais e com os mesmos aspetos construtivos, sendo que em termos de limitações adicionais, apenas há a necessidade de garantir espaço suficiente para que os operadores consigam aceder aos painéis de controlo, e para que as operações de manutenção dos sistemas presentes no interior de máquina sejam feitas sem qualquer tipo de constrangimento.

A disposição destes equipamentos e as dimensões relativas entre eles está representada na Figura 5.26.

Através das dimensões referidas, garante-se uma inclinação mínima das tubagens de aproximadamente 50°, suficiente para haver um fluxo interrupto de cortiça sem grandes perigos de entupimento das mesmas, sendo assim possível evitar o transporte pneumático.

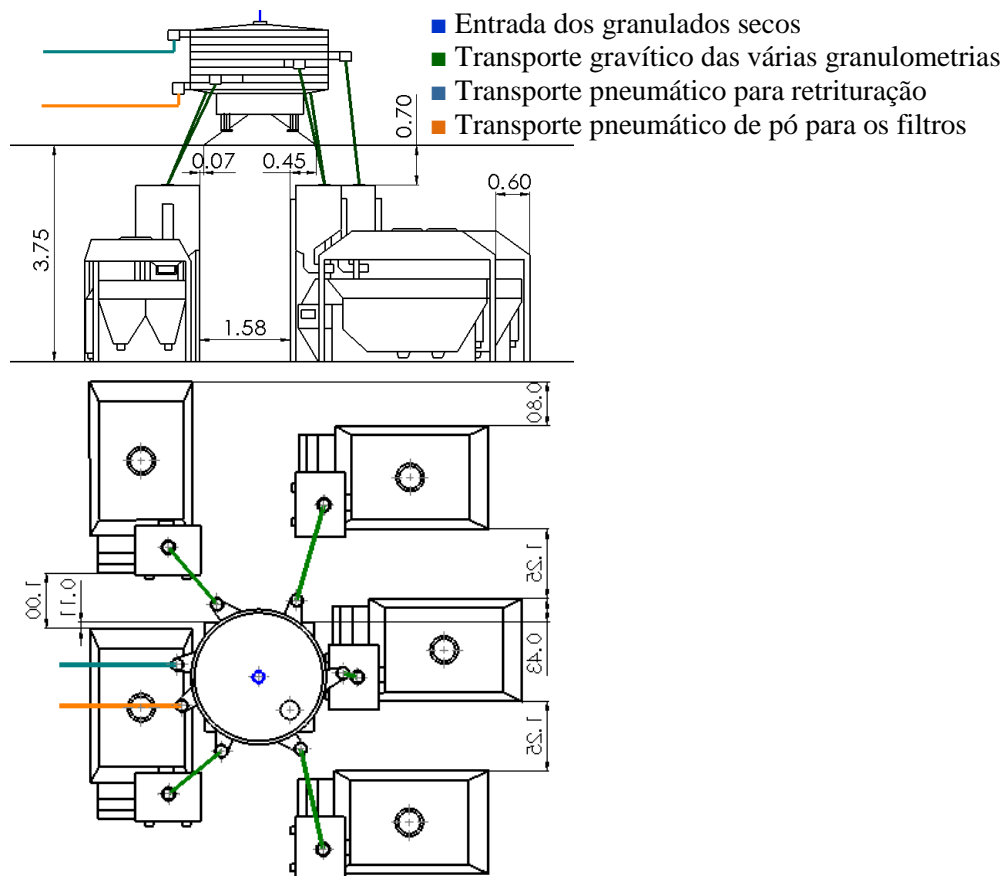


Figura 5.26 – Esquema de montagem do segundo peneiro e das mesas densimétricas

A nível de manutenção será garantido um espaçamento de 1.25 metros entre coberturas de aspiração, o que representa um espaço físico entre mesas de cerca de 1.40 metros, comprimento superior a qualquer peça presente no interior destes aparelhos, não limitando as operações de manutenção. A estrutura de suporte do peneiro deverá ser uma plataforma de dimensões suficientes para pousar as malhas semicirculares e possibilitar os acessos aos responsáveis pela manutenção das redes. O patamar onde estarão apoiadas as mesas densimétricas não só deverá respeitar as dimensões impostas pelo desenho representado na figura anterior, como deverá garantir que a distância entre os limites deste mesmo patamar e as máquinas nunca é inferior aos 1.40 metros, com particular ênfase para a zona junto às duas mesas alinhadas em série (à esquerda na Figura 5.26).

Por cima do peneiro será montado um ciclone para o despoeiramento da cortiça proveniente da segunda secagem e da trituração dos granulados que percorreram o sistema de recirculação. Apesar de não estar representado, cada mesa densimétrica terá uma saída adicional, destinada para os granulados de elevada densidade, que terá como destino final os moinhos da recirculação que serão explicados no próximo subcapítulo.

5.8 Recirculação de Cortiça e Trituração Final

A cortiça que será recirculada, como dito no subcapítulo 4.9, é separada do processo através do segundo peneiro e das mesas densimétricas. A recirculação e a retrituração em si, são um sistema que tem como principal objetivo rentabilizar a matéria-prima através da obtenção de granulados de qualidade a partir de grãos que seriam à partida considerados desperdícios. Tal como na indústria tradicional, os moinhos escolhidos para serem utilizados na trituração da cortiça em recirculação serão similares aos utilizados na segunda fase de trituração.

Apesar de, na sequência lógica do processo, a trituração dos granulados em recirculação pertencer à fase final do processo, à medida que foram definidas as dimensões e as alturas das restantes etapas do processo e dado o espaço existente junto aos trituradores secundários, surgiu a hipótese construtiva de colocar os dois moinhos trituradores responsáveis por esta fase final de trituração em linha com os três moinhos introduzidos no subcapítulo 5.5.2.

A representação dos componentes, as distâncias entre eles e uma vista simplificada dos sistemas de transporte associados está representada na Figura 5.27.

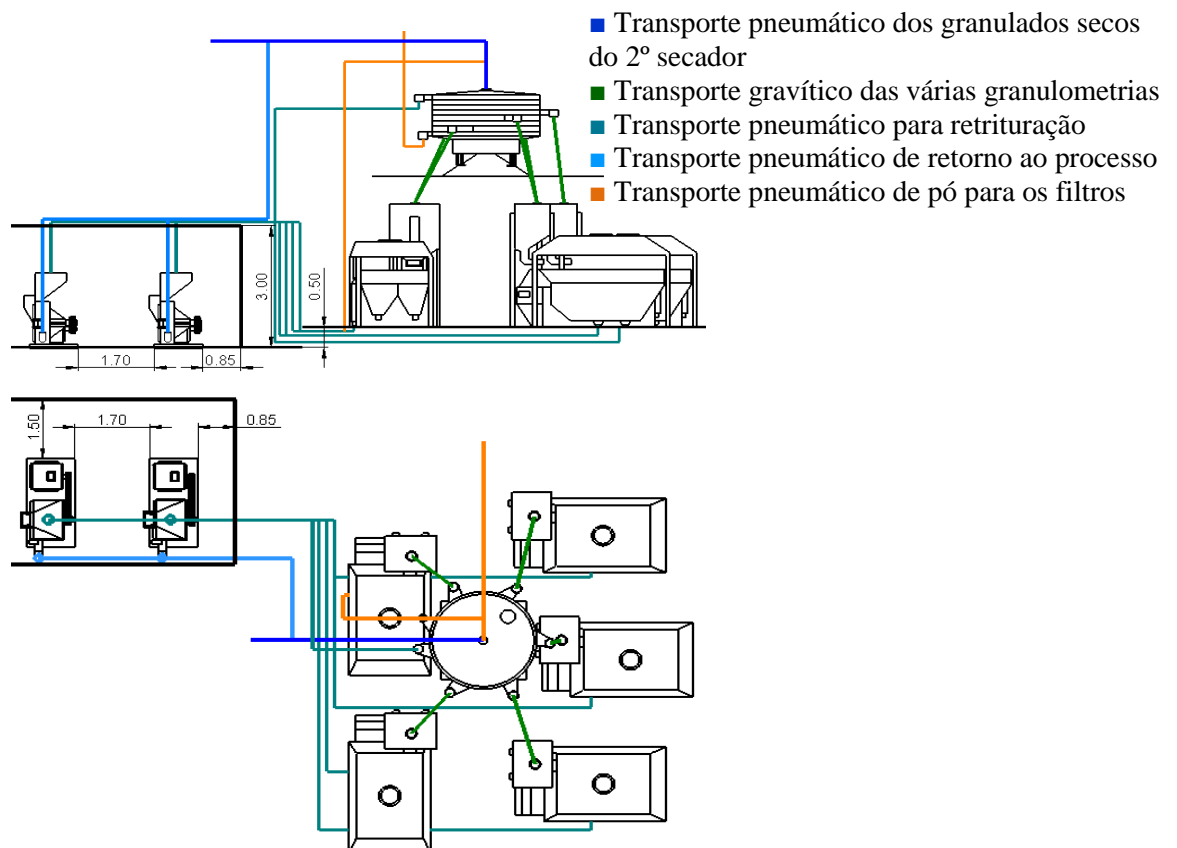


Figura 5.27 – Trituradores finais e sistema de recirculação da cortiça

Sob o ponto de vista da manutenção, os cinco moinhos estarem localizados num único local permitirá o estabelecimento de uma oficina de manutenção nas proximidades, aumentando a organização da fábrica e permitindo atuar rapidamente nestes equipamentos. Para além disso,

centralizar as operações de trituração possibilita a construção de uma só cobertura com isolamento acústico para reduzir o ruído gerado por estes equipamentos.

Em relação à matéria-prima proveniente das mesas densimétricas, a cortiça com elevada massa volúmica será guiada pneumaticamente por tubagens fixas à estrutura de suporte das próprias mesas para alcançar os moinhos trituradores. O caso particular da cortiça com dimensões inferiores a 1 milímetro que for rejeitada pelas mesas densimétricas será retirada diretamente do processo para os filtros e silos do pó, não justificando a retrituração. A nível energético, dada a posição das mesas densimétricas, o transporte pneumático para os moinhos será maioritariamente horizontal e, apesar de requerer uma subida em altura, não implicará consumos adicionais de energia. Isto verifica-se, pois, quando comparando com a construção dos moinhos no patamar abaixo das mesas, a necessidade de elevar a cortiça retriturada para o peneiro rotativo no topo da estrutura iria sempre existir, sendo que elevar a cortiça na fase prévia ou posterior a trituração acaba por ter custos relativamente idênticos, e as oscilações de altura nos dois casos representam a mesma distância vertical de 3 metros.

A cortiça com dimensões superiores a 7 milímetros provenientes do peneiro rotativo seria transportada também por via pneumática, com a particularidade de que dada a diferença de alturas entre os dois sistemas, os gastos associados ao transporte serão praticamente nulos. A nível de transporte pneumático, deverá ser feito um esforço para reduzir ao máximo o comprimento das linhas.

Apesar de não estar representado, existirá um ou mais ciclones no topo do peneiro rotativo, que serão responsáveis pela remoção do pó vindo da trituração da matéria em recirculação, o dimensionamento destes sistemas teria de ser realizado com profissionais e especialistas da área em questão.

5.9 Processo de Ensaque

A última fase do processo envolve as operações de ensaque, armazenamento e expedição das diferentes granulometrias e qualidades de granulados separados nas mesas densimétricas.

No projeto atual, não se prevê a edificação de qualquer outro tipo de indústria de processamento de cortiça associada à trituração, sendo que os produtos finais terão de ser transportados para os clientes através de transporte rodoviário. O carregamento dos granulados para os camiões poderá ser feito por duas vias:

- Descarga de silos para o interior de contentores de transporte
- Carregamento de *Big-Bags* para a galera de um camião

A primeira opção permite um melhor aproveitamento do espaço disponível do camião, transportando uma maior quantidade de granulados de uma só vez, contudo, tem associada a si um grande investimento em silos de armazenamento, em sistemas de transporte e em sistemas adicionais de filtragem do ar.

Havendo pelo menos 10 variedades de granulados a serem produzidas, para um armazenamento integral em silos, teriam de ser edificadas pelo menos este mesmo número de estruturas, estruturas estas que necessitariam de ter dimensões bastante consideráveis para conseguirem armazenar as quantidades produzidas diariamente. Associado a este fator, estaria também a necessidade de recorrer ao método de transporte pneumático que, como dito anteriormente, é extremamente dispendioso. Por último, os silos de armazenamento associados ao transporte pneumático aumentam consideravelmente o risco de despoletar incêndios.

Por razões energéticas, económicas, espaciais, e a de maior relevância, razões de segurança, a utilização exclusiva de *Big-Bags* no processo de ensaque e expedição de cortiça foi considerada a opção mais viável.

Existem algumas triturações atualmente a produzir inteiramente para *Big-Bags*, sendo que este processo não está isento de problemas e de possibilidades de melhoria. Começando pela eficiência energética, a indústria tem a tendência para afastar a zona de ensaque do restante processo, utilizando redes pneumáticas para o transporte dos granulados finais. Isto resulta numa rede complexa e vasta de tubagens, sendo esta sinónimo de um consumo considerável de energia.

Quanto aos *Big-Bags*, estes sacos de grandes dimensões têm uma capacidade de enchimento máxima um pouco inferior a 2 m³, o que requer que sejam retirados da linha e substituídos por outros vazios ao fim de um período de tempo relativamente curto. A troca dos sacos é um processo manual e por isso irá exigir a presença de um operador para realizar a substituição. Sendo a alimentação da cortiça por parte das mesas densimétricas um processo interrompido, um qualquer atraso na ação de troca irá resultar num transbordo dos granulados do saco. A cortiça irá espalhar-se pelo chão de fábrica, ficando contaminada, e criando desordem e necessidades de limpeza adicionais. Mesmo assumindo que o operador age no momento requerido, a ação de troca dos sacos é também potenciadora de perda de produtos caso não haja um sistema de fecho dos bocais de alimentação da cortiça granulada.

Um outro problema associado ao enchimento dos *Big-Bags*, é a própria natureza dos granulados, que irão ter a tendência natural de formar uma forma cónica com a inclinação do ângulo de talude que não irá permitir um enchimento completo do saco.

Para além disso a quantidade presente em cada saco não é de fácil controlo ou definição, oscilando não só com a qualidade da cortiça e com a velocidade de alimentação, mas também com as variações impostas pela atuação atempada ou tardia do operador nas operações de troca dos *Big-Bags*.

5.9.1 Abordagem axiomática do problema

Sendo um tópico variável entre as várias indústrias existentes, que depende de fatores particulares de cada fábrica, não será feita a abordagem axiomática dos *layouts* atualmente

existentes. Alternativamente ao trabalho sistematicamente desenvolvido anteriormente, apenas foi procurado definir um novo layout.

Os FRs definidos na procura de uma resposta aos requisitos do cliente de uma forma que evite os problemas anteriormente explicados foram:

- FR1- Armazenar a cortiça proveniente das mesas
- FR2- Ensacar interruptamente a cortiça
- FR3- Garantir o enchimento integral dos sacos
- FR4- Registrar e explicitar o peso de cada saco
- FR5- Minimizar os custos de transporte

O armazenamento da cortiça será feito através de *Big-Bags*. O método tradicionalmente utilizado para o ensaque dos granulados não irá satisfazer todos os requisitos funcionais descritos anteriormente. Como forma de reduzir para um valor vestigial os desperdícios de cortiça neste processo, é necessário atuar no modo de mudança e substituição dos sacos.

Introduzindo válvulas desviadoras de duas saídas na zona inferior das mesas densimétricas, estando um saco cheio, a válvula é atuada e os granulados serão desviados para um bocal de saída alternativo. Neste bocal estará já colocado um outro saco vazio, não sendo necessário interromper o processo e assegurando o FR2. Ao encontrar uma solução que permita alterar o fluxo de cortiça sem haver pausas no processo, a introdução de *buffers* no sistema é dispensada, e a necessidade impraticável do operador responsável pela troca dos sacos de estar em vários sítios no mesmo instante desaparece, reduzindo os picos de necessidade de mão-de-obra registados em algumas indústrias tradicional. A utilização de válvulas desviadores é já uma medida utilizada em algumas triturações e representa uma mais valia para o projeto.

No seguimento da procura da redução da rede de transporte pneumático, o método atual não se apresenta como uma opção viável. A situação mais favorável seria a cortiça fluir diretamente das mesas densimétricas para o interior dos sacos. Para tal ocorrer, seria necessário elevar as mesas, normalmente encontradas no nível térreo, para um patamar superior em altura, e aproveitar a força gravítica para assegurar a chegada dos granulados aos sacos. Através do sistema de válvulas desviadoras, foi possível eliminar os *buffers* de matéria-prima associados aos sistemas anteriores, permitindo que a altura a que as mesas estarão seja inferior à necessária na indústria tradicional e tornando esta alternativa mais viável.

Como referido na introdução deste subcapítulo, uma das características próprias dos materiais granulados é o ângulo de talude. Os granulados têm a tendência a formar um cone cujo ângulo entre a superfície inclinada e a vertical é relativamente constante consoante o material e as propriedades dos grãos. A cortiça não é exceção, e a formação deste cone no interior dos sacos irá impossibilitar o enchimento integral do saco. Existem na indústria tradicional várias abordagens a este problema, tal como bases vibratórias, mecanismos de agitação instalados nas laterais dos sacos, ou movimentos rotativos do bocal alimentador. A vibração da base do *Big-Bag* é um método bastante

eficaz, seguro e que não necessita de operações de manutenção frequentes, sendo por isso a opção escolhida.

O controlo da quantidade de matéria-prima introduzida em cada saco não é por norma feito na indústria tradicional. Os sacos são simplesmente cheios até à sua máxima capacidade, sem grandes preocupações com as quantidades de material introduzidas. Em alguns casos, contudo, são utilizadas balanças instaladas numa zona após o processo, mas apenas como método de obter referências para os pesos e volumes médios dos sacos produzidos. A introdução da pesagem como parte integrante do processo de produção, bem como a introdução dos dados medidos na referência associada a cada *Big-Bag* seriam uma mais valia para a implantação a nível de controlo de produção, e para a satisfação do cliente, que saberia exatamente o que estaria a receber. Para tal, os *Big-Bags* iriam passar por uma balança que estaria colocada imediatamente antes da zona de armazenamento, junto de uma estação de controlo da produção, não obrigando o operador do empilhador a fazer desvios do que seria o percurso normal de transporte. Após a pesagem, os dados seriam introduzidos num sistema de controlo, manualmente ou por via eletrónica, associando o peso à referência do saco. O peso seria então discriminado na documentação do saco respondendo desta forma ao FR4.

A partir das ideias descritas, definiram-se os seguintes DPs:

DP1- *Big-Bags*

DP2- Válvula desviadora com duas saídas

DP3- Base vibratória

DP4- Estação de controlo da produção

DP5- Zona de ensaio no nível inferior das mesas

Obtendo-se a seguinte equação de projeto:

$$\begin{pmatrix} \text{FR1} \\ \text{FR2} \\ \text{FR3} \\ \text{FR4} \\ \text{FR5} \end{pmatrix} = \begin{bmatrix} X & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & X & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & X & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & X & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & X \end{bmatrix} \begin{pmatrix} \text{DP1} \\ \text{DP2} \\ \text{DP3} \\ \text{DP4} \\ \text{DP5} \end{pmatrix} \quad 5.9$$

No projeto obtido, os requisitos funcionais dependem apenas e exclusivamente de um só parâmetro de projeto, respeitando assim o Axioma da Independência e fazendo deste um projeto ideal. (Teorema 4)

- Mesas densimétricas e número de sacos

As mesas densimétricas separam a cortiça em vários grupos densimétricos. Destes, apenas a cortiça de baixa e média densidade será diretamente aproveitada para fins comerciais. Assim sendo, cada mesa terá duas saídas diretas para a fase de ensaio. Após estas saídas, estarão duas válvulas desviadoras com cada saída associada a um *Big-Bag*. Existirão, portanto, na zona inferior de cada uma das mesas densimétricas 4 sacos. Na totalidade, havendo cinco intervalos granulométricos e por essa razão cinco mesas densimétricas, estarão sempre dez sacos a receber

granulados, sendo que os restantes 10 sacos estarão em *standby* ou estarão a ser trocados por sacos vazios.

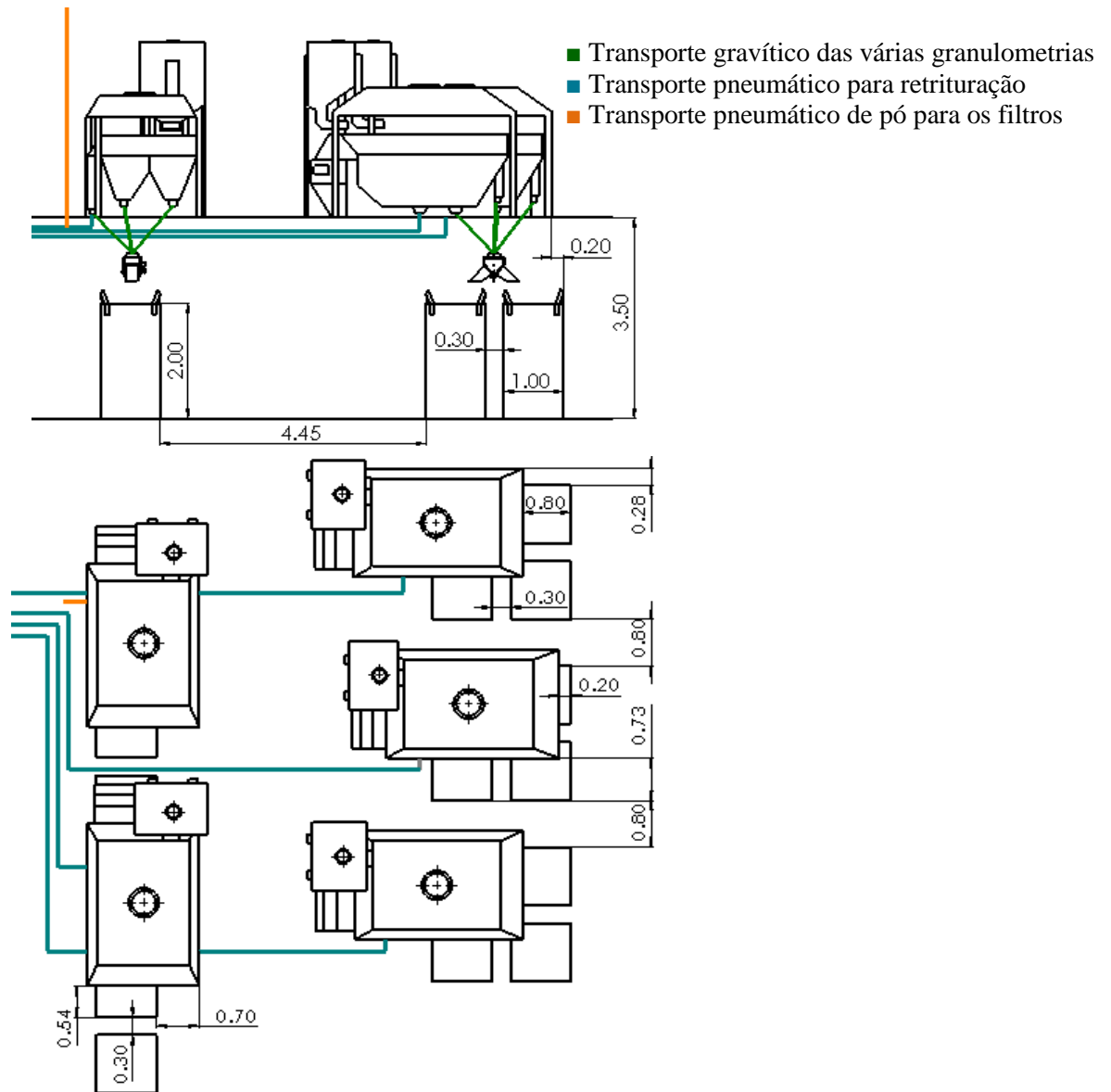


Figura 5.28 – Disposição das mesas e respetivos sacos

- Sistema de controlo do peso

Após retirar os sacos da zona de ensaie dos granulados, o operador do empilhador irá transportar o saco para uma balança colocada ao lado de uma zona de controlo da produção. O peso será registado, introduzido na base de dados e impresso na referência do saco. Essa referência será posteriormente associada ao saco e procede-se ao transporte para a zona de armazenamento.

Esta operação deverá demorar entre 30 segundos a 1 minuto a realizar, não tendo uma influência prejudicial nos *timings* do processo.

As balanças a utilizar são apeladas de básculas por tratarem de objetos com pesos consideráveis, sendo um exemplo de uma possível opção o modelo IFN-1500 da marca espanhola

Baxtran, com 4 células de carga, com capacidade para 1500 kg, uma precisão de 0.5 kg e com uma plataforma com 1.5 x 1.5 metros, representada na Figura 5.29. A brochura do equipamento poderá ser encontrada em anexo.

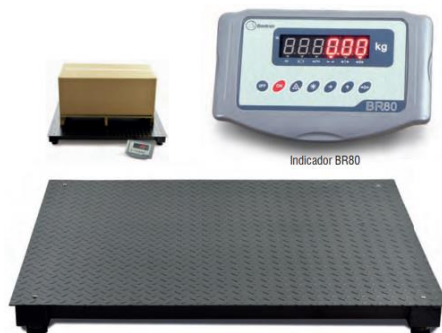


Figura 5.29 – Balança IFN - 1500 BAXTRAN

5.9.2 Escolha dos sacos

Na Figura 5.30, podem-se observar as várias opções de personalização dos sacos, cada qual, com características otimizadas para indústrias específicas.

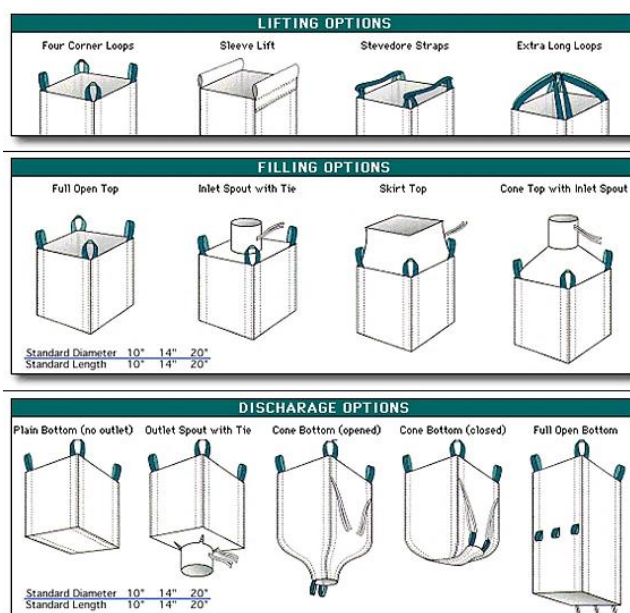


Figura 5.30 – Diferentes exemplos de *Big-Bags* (CargoHandbook, 2018)

Para a implantação foram escolhidos sacos de polietileno, que é um material mais facilmente reciclável que o polipropileno, reduzindo a pegada ecológica da indústria, com as especificações de 4 alças de apoio e um bocal de alimentação como se pode ver na Figura 5.30 (*Four Corner Loops* e *Inlet Spout with Tie*). Quanto às opções de descarga, as características do saco irão depender das preferências dos clientes, podendo ser fundos planos sem saída, ou bases com bocais idênticos aos utilizados para a entrada do material (*Plain Bottom* e *Outlet Spout with Tie*).

5.10 Armazém do produto final

Em relação ao armazenamento dos granulados de cortiça, foi idealizada uma extensão do edifício da fábrica no mesmo nível do ensaie dos sacos, com um pé-direito de 5 metros.

A zona de armazém distancia-se da última zona de ensaie em 11 metros como é possível visualizar na Figura 5.31.

Esta distância assegura uma barreira espacial entre o processo e o produto final, crucial em caso de incêndio, garantindo espaço suficiente para quaisquer manobras por parte do empilhador.

Existirá um portão auxiliar de acesso à fábrica entre o processo e o espaço destinado ao armazenamento. Este garante o acesso a esta zona independentemente da lotação do armazém. Foram idealizadas três conjuntos de sacos, cada um com capacidade de 13 sacos por 14, garantindo uma capacidade total de armazenagem de 546 sacos. Este valor representa a produção de 4 dias assumindo um rendimento da matéria-prima de 60%.

Entre cada conjunto de sacos foi implementado uma distância de segurança de 5 metros que garante que em caso de queda dos *Big-Bags*, existe sempre espaço para que um operador possa sair do edifício em segurança. O corredor que liga o processo ao portão de saída da fábrica dista em 6 metros da linha de armazenamento de forma a garantir que em caso de queda, existam sempre cerca de 4 metros desimpedidos, espaço suficiente para a passagem de um qualquer veículo. O carregamento dos sacos para os camiões que os irão transportar é feita através do portão representado na figura.

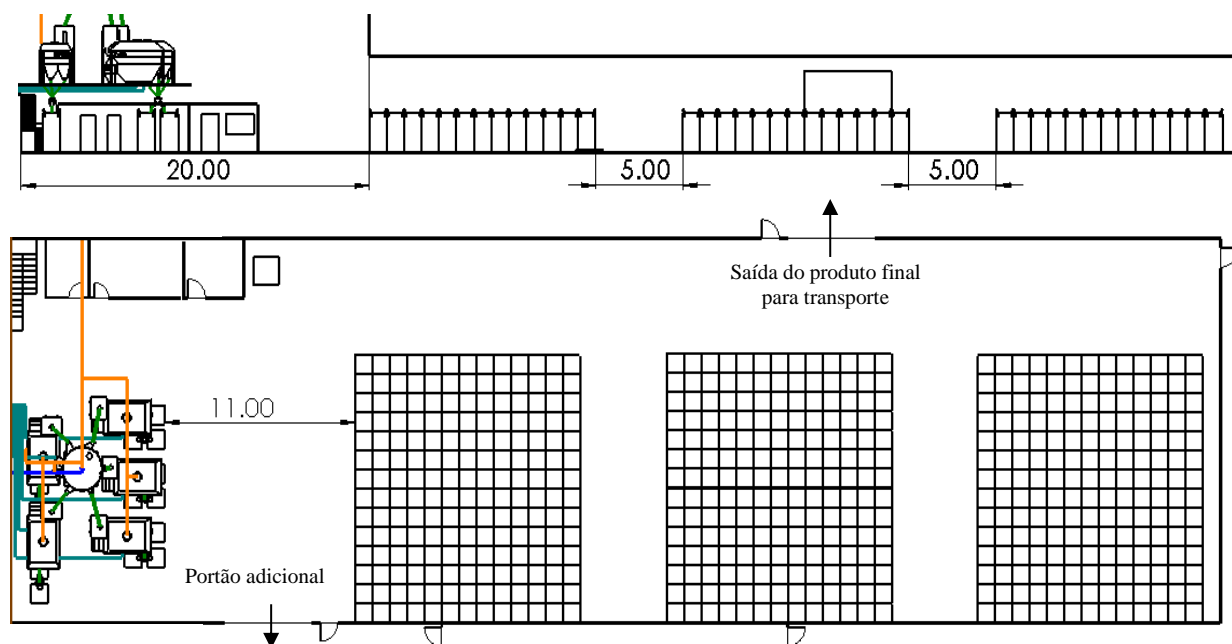


Figura 5.31 – Dimensões gerais da zona de armazém e disposição dos sacos

5.11 Filtragem e Aproveitamento do Pó de Cortiça

Em relação ao processo de filtragem do pó, sendo um sistema que raramente apresenta falhas ao nível funcional, não serão feitas alterações a nível técnico em relação ao que normalmente se encontra na indústria. Onde o projeto atual se irá destacar, é nas medidas de segurança tomadas e na redução considerável da rede pneumática que se fez notar ao longo de todo o processo.

O dimensionamento dos equipamentos de filtragem depende o caudal imposto pelo sistema pneumático, e tal como deste, o seu dimensionamento é de extrema complexidade e exige anos de experiência no ramo. Como tal foram apenas feitas algumas considerações e recomendações sobre esta temática.

5.11.1 Localização dos filtros do pó

De modo a reduzir ao máximo o comprimento e a complexidade das redes pneumáticas, a localização dos filtros foi pensada no sentido de os aproximar ao máximo do processo, não pondo em causa, contudo, a segurança dos operadores e do processo em si. O método de extração do pó consiste na divisão do pó recolhido do processo em 3 saídas independentes entre si, procurando minimizar os riscos de propagação das chamas em caso de incêndio, e ao mesmo tempo, a distância percorrida.

- 1º trituração

Na 1ª trituração, houve um corte fundamental no transporte pneumático, não existindo a possibilidade de instalar um ciclone para a remoção do pó. Como alternativa, na base do triturador existirá uma malha de separação que irá separar as terras e algum pó que se solta da cortiça no momento da trituração, caindo por gravidade para uma tolva que as irá guiar para um sistema pneumático de transporte para o exterior do edifício. A passadeira rolante irá ao longo do seu comprimento apresentar um sistema de aspiração idêntico ao utilizado nas mesas densimétricas, que irá retirar o pó em suspensão do processo. Ambos os sistemas irão convergir para uma saída comum do edifício da fábrica.

- 1º Peneiro e 2ª trituração

A entrada da cortiça para o 1º peneiro será feita pneumaticamente, partindo do secador. No topo do peneiro será instalado um ciclone que irá filtrar o ar antes da entrada no equipamento. Após a 2ª trituração, é crucial a remoção de pó do processo, sendo por isso o transporte feito igualmente através da rede pneumática, sendo que existirá outro ciclone à entrada do segundo secador. Ambas as saídas de pó dos ciclones irão convergir para a segunda zona de saída do ar do edifício da fábrica.

- Trituração das recirculações, 2º peneiro e mesas densimétricas

Após sair do secador, a cortiça é direcionada para o segundo peneiro onde irá convergir com a matéria-prima recirculada e novamente triturada. Existirá então na zona acima do peneiro um ciclone para o processamento destes granulados. Para além do ciclone, esta terceira saída de pó para os filtros de ar irá transportar também as poeiras aspiradas nas mesas densimétricas, bem como a saída de materiais pesados da mesa densimétrica responsável pelos granulados de dimensões inferiores a 1 milímetro.

Estas três divisões apresentam uma distância considerável entre elas e apenas irão convergir na zona próxima dos filtros de ar. Idealmente cada uma destas saídas teria como destino um filtro de mangas em separado, sendo que essa solução construtiva seria debatida aquando do dimensionamento destas estruturas por parte de uma entidade especializada.

5.11.2 Silo do pó

O Silo do pó, sendo extremamente vulnerável em caso de incêndio, está localizado por razões de segurança a mais de 5 metros do edifício onde decorre o processo. Este silo terá como zona de menor resistência o topo da sua estrutura. Este detalhe construtivo garante que, em caso de explosão, será esta componente a ceder primeiro, direcionando a energia de uma eventual explosão na vertical e evitando a projeção de estilhaços a alta velocidade e de labaredas para as zonas circundantes do mesmo.

No interior do silo existirá um mecanismo com o intuito de fazer circular o pó de cortiça, não permitindo a formação de grumos juntos às laterais da estrutura, prejudiciais a nível de capacidade do próprio silo, e que apresentam um risco de segurança adicional, mecanismo que será descrito no subcapítulo 5.15.

A saída inferior do silo encontrar-se-á a uma altura relativa ao chão superior a 4 metros, permitindo, caso seja necessário, descarregar o pó para o interior de um camião. Idealmente, todo o conteúdo de pó no interior do silo será pneumáticamente transportado para a central de cogeração para ser queimado para produção de energia térmica e elétrica.

5.11.3 Cogeração

Apesar do esforço feito para contactar empresas de fabrico destas centrais, não foi obtida qualquer resposta, e a informação disponível não permitiu obter detalhes relevantes sobre este tipo de instalação. Contudo, alguns exemplos foram encontrados e uma ideia geral das dimensões de uma estação de cogeração foi obtida, estando representada na Figura 5.32. Em relação à capacidade de produção de energia de caldeiras existentes a funcionar a partir de pó de cortiça, estas apresentam produções de energia entre 1.5 e 6 MW. Esta energia é suficiente para alimentar toda a implantação

como será visto no subcapítulo 5.15.3, sendo até possível vender a energia produzida à rede. A dúvida que permanece é se a produção diária de pó iria permitir atingir tais produções, ou se seria necessário adquirir matéria-prima para garantir a produção dessa energia.

O transporte do pó do silo para a central seria feito por via pneumática (representado a castanho na Figura 5.32), sendo que a tubagem responsável pelo transporte estaria no exterior, apoiada ao longo do telhado da fábrica. Através de um revestimento com materiais retardantes de chama nas zonas de apoio das tubagens, é garantida uma proteção adicional do edifício em caso de incêndio.

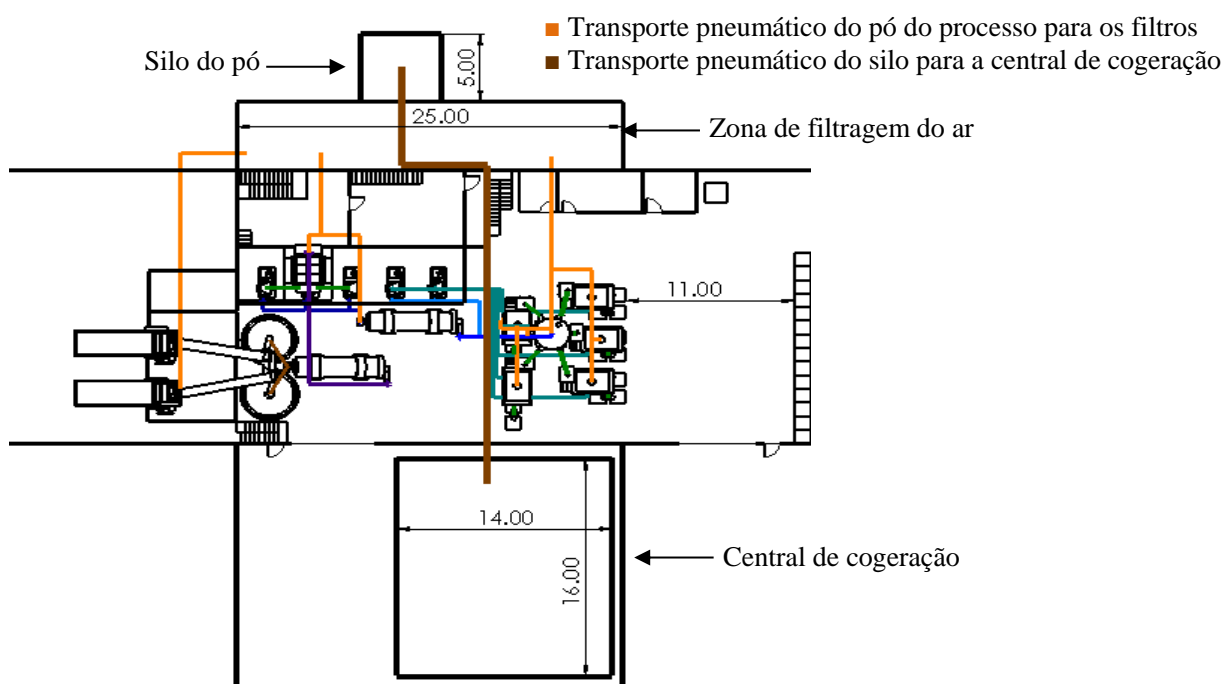


Figura 5.32 – Localização da central de cogeração, da zona de filtragem e do silo do pó.

5.12 Aproveitamento Topográfico

Recorrendo ao transporte gravítico e a utilização de tapetes rolantes, foi possível ao longo deste trabalho reduzir a dimensão da rede pneumática comparativamente às indústrias tradicionais, reduzindo também as necessidades energéticas e o impacto ambiental da fábrica. Contudo, este benefício surgiu à custa do crescimento da implantação em altura. Dada a dificuldade acrescida de transportar os granulados verticalmente, forçar a cortiça consecutivamente a chegar às zonas mais altas da fábrica iria tornar muito menos significativa a redução feita até ao momento, pondo em causa as decisões tomadas até ao momento. Uma hipótese construtiva que visa reduzir as variações de altura entre os vários equipamentos é o desenvolvimento do processo ao longo de vários pisos ou níveis desfasados entre si. Ao longo da evolução do *layout* final da fábrica, foi possível concluir que o desenvolvimento do processo em três níveis distintos iria reduzir significativamente as variações

de altura, o comprimento total da rede pneumática e iria facilitar o acesso aos equipamentos mais elevados.

O primeiro nível é composto pela zona de alimentação da cortiça, com o armazém dividido em três parcelas (subcapítulo 5.1) e por um pequeno degrau onde estarão os dois primeiros trituradores (subcapítulo 5.2.3) e o tapete rolante que alimentará os silos.

A altura dos silos ditará aproximadamente a altura do patamar para o segundo nível do processo, sendo que este incluiria os próprios silos, o sistema de doseamento (subcapítulo 5.2.4), seguindo do primeiro secador, da primeira peneiração, das trituração secundárias e de recirculação e da segunda secagem (subcapítulos 5.2.7, 5.4, 5.5 e 5.8).

Após o transporte da cortiça proveniente do segundo secador por via pneumática, o segundo peneiro (subcapítulo 5.6) marcaria o início do terceiro nível e iria prosseguir para as mesas densimétricas e pela sequência de ensaque (subcapítulo 5.7 e 5.9). Seria também utilizado para a armazenagem dos *Big-Bags* já cheios (subcapítulo 5.10).

Considerando as dimensões dos equipamentos, a facilidade de acesso aos próprios, as operações de manutenção necessárias de realizar e reservando espaço para a sua eventual substituição sem necessidade de desmontar qualquer outra máquina, foi obtido o perfil da Figura 5.33. Os desenhos dos três níveis descritos poderão ser encontrados em anexo.

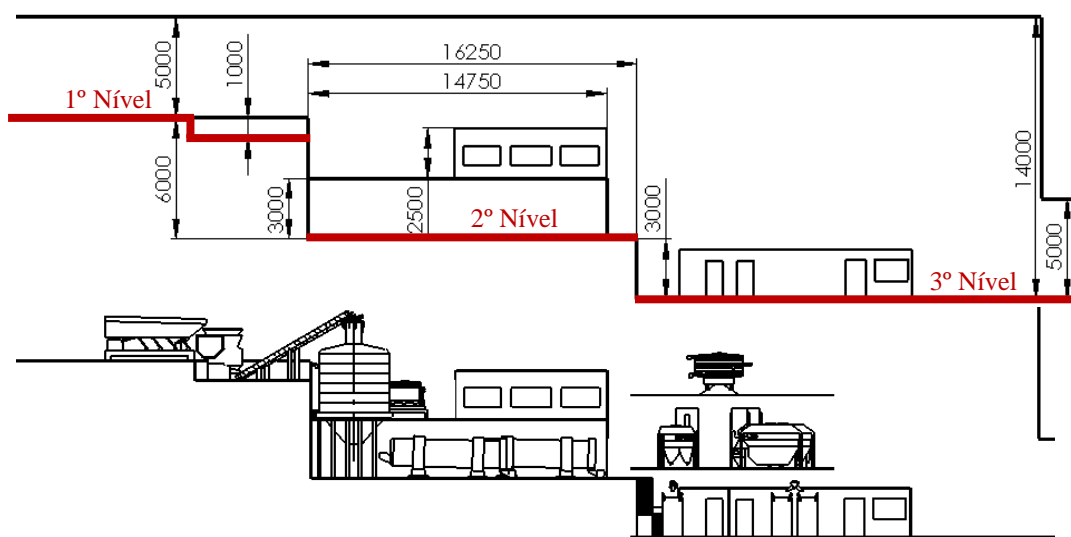


Figura 5.33 – Perfil da fábrica e distribuição dos equipamentos do processo pelos vários patamares

5.13 Planta

No seguimento do desenvolvimento do perfil da fábrica descrito no subcapítulo anterior, a planta do edifício foi desenvolvida considerando os mesmo três níveis, associando a cada um estruturas de suporte à produção e acessos aos vários pisos referidos. A planta foi desenvolvida tendo como considerações adicionais a facilidade de deslocação dos operadores, a facilidade de acesso aos vários pontos do processo e a fácil gestão dos produtos finais.

A Figura 5.34 representa o *layout* final do edifício onde serão instalados os equipamentos do processo, bem como a divisão entre as várias zonas (identificadas por letras) que serão em seguida descritas.

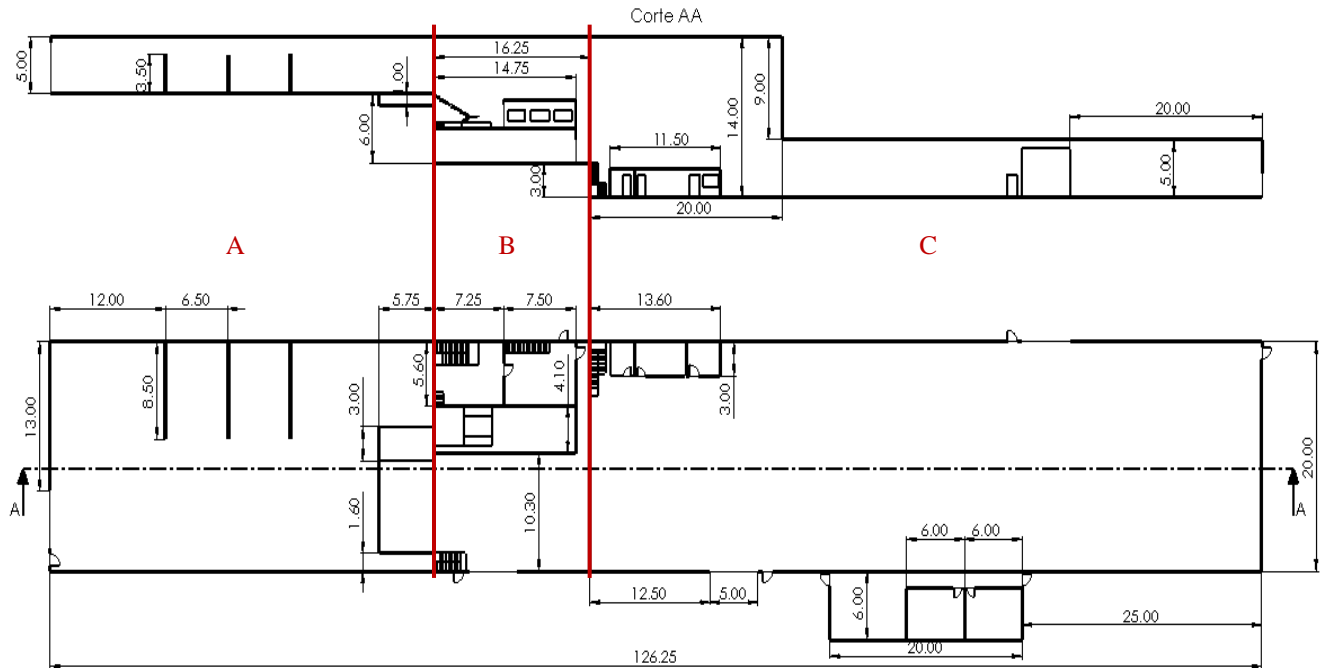


Figura 5.34 – Planta simplificada da fábrica

- Zona A

A zona A engloba os primeiros 40 metros do edifício, iniciando-se no portão de acesso ao interior. Além das zonas de armazenamento dos três tipos de cortiça, esta área apresenta um pequeno desnível para a montagem dos trituradores cuja função é diminuir a altura dos transportadores vibratórios. Desta forma o operador das pás carregadoras conseguirá visualizar a quantidade de matéria presentes nestes *buffers*, e será mais fácil descarregar a cortiça, tornando o processo mais fiável e seguro.

A distância entre os separadores dos três tipos de cortiça e a parede no extremo oposto do edifício ronda os 11.5 metros, permitindo efetuar com segurança quaisquer manobras por parte das pás carregadoras. Através das dimensões impostas, os transportadores vibratórios e a parede que delimita a zona de armazém distam no mínimo cerca de 5.5 metros, não havendo perigo de colisão nos momentos de carga e descarga de matéria-prima, e permitindo o acesso à zona lateral dos trituradores.

- Zona B

Na segunda zona do processo, foi aproveitada a largura definida pela zona anterior para a introdução de duas estruturas fundamentais de apoio à produção. O processo em si terá lugar nas áreas definidas pelas larguras de 10.30 m (silos e secador) e de 4.10 m (triturações). Esta última área

será fechada e coberta com um revestimento acústico de forma a reduzir o ruído produzido pelos cinco trituradores que irão trabalhar no seu interior.

Na restante largura do edifício será edificada e equipada uma oficina, e no piso superior a esta, será estabelecida a central de controlo do processo. A oficina encontra-se assim junto dos trituradores secundários, que são dos aparelhos que necessitam de mais cuidados a nível de manutenção, e numa posição que lhe garante uma distância relativamente curta de todo os restantes equipamentos do processo. Pequenas reparações a componentes danificados bem como o armazenamento de algumas peças de substituição serão feitas neste espaço. A central de controlo, dada a sua posição privilegiada, terá janelas a toda a volta que irão permitir controlar visualmente toda os processos da fábrica.

A nível de acessos, existirão escadas em ambos os extremos do edifício, uma ligando o primeiro nível à base do segundo (descida de 6 metros), e a outra estabelecendo o acesso do 1º nível ao primeiro peneiro e ao interior da central de controlo (3 metros). Uma escadaria adicional ligará a central de controlo à oficina de manutenção (3 metros). Existirá uma porta e um portão de acesso ao exterior junto dos secadores e uma saída de emergência na oficina.

- Zona C

A terceira e última zona do edifício será responsável por todo o processo de ensaque do produto final, pela armazenagem dos materiais produzidos e pela expedição dos mesmos. Neste nível será contruída uma estação de controlo de produção, associada a uma balança, ambos descritos no subcapítulo 5.9, e na continuidade da mesma, serão construídas duas divisões adicionais. A primeira reservada a uma casa de banho para os operadores, e a segunda a funcionar como zona de armazém para os sacos a utilizar no processo. Estes três espaços encontram-se na extremidade do edifício e terão uma largura de 3 metros, garantindo um espaçamento de 5.5 metros até à zona de ensaque. Este espaço será suficiente para o empilhador realizar as manobras necessárias à sua função, sobrando ainda uma distância de segurança reservada à deslocação dos operários.

Em relação aos acessos, existirá uma escada a ligar o 2º nível ao 3º em linha com a oficina de manutenção e os edifícios do 3º nível. Será construído um portão de acesso à zona do processo, permitindo o acesso de veículos de maior porte, e existirá um portão a meio do armazém de onde será expedido o produto final. Ambos os portões têm associadas portas de acesso ao exterior, e será construída uma saída de emergência no extremo do edifício.

No exterior do edifício será construído um edifício reservada aos trabalhadores da fábrica, constituído por dois balneários (feminino e masculino) e uma zona de refeições.

5.14 Layout final do processo

Associando à planta final definida no subcapítulo anterior todos os componentes que tem vindo a ser descritos ao longo deste trabalho, conclui-se a conceção do layout final do processo. A Figura 5.35 representa a totalidade do processo já com as posições e dimensões definidas. O desenho de pormenor encontra-se nos anexos.

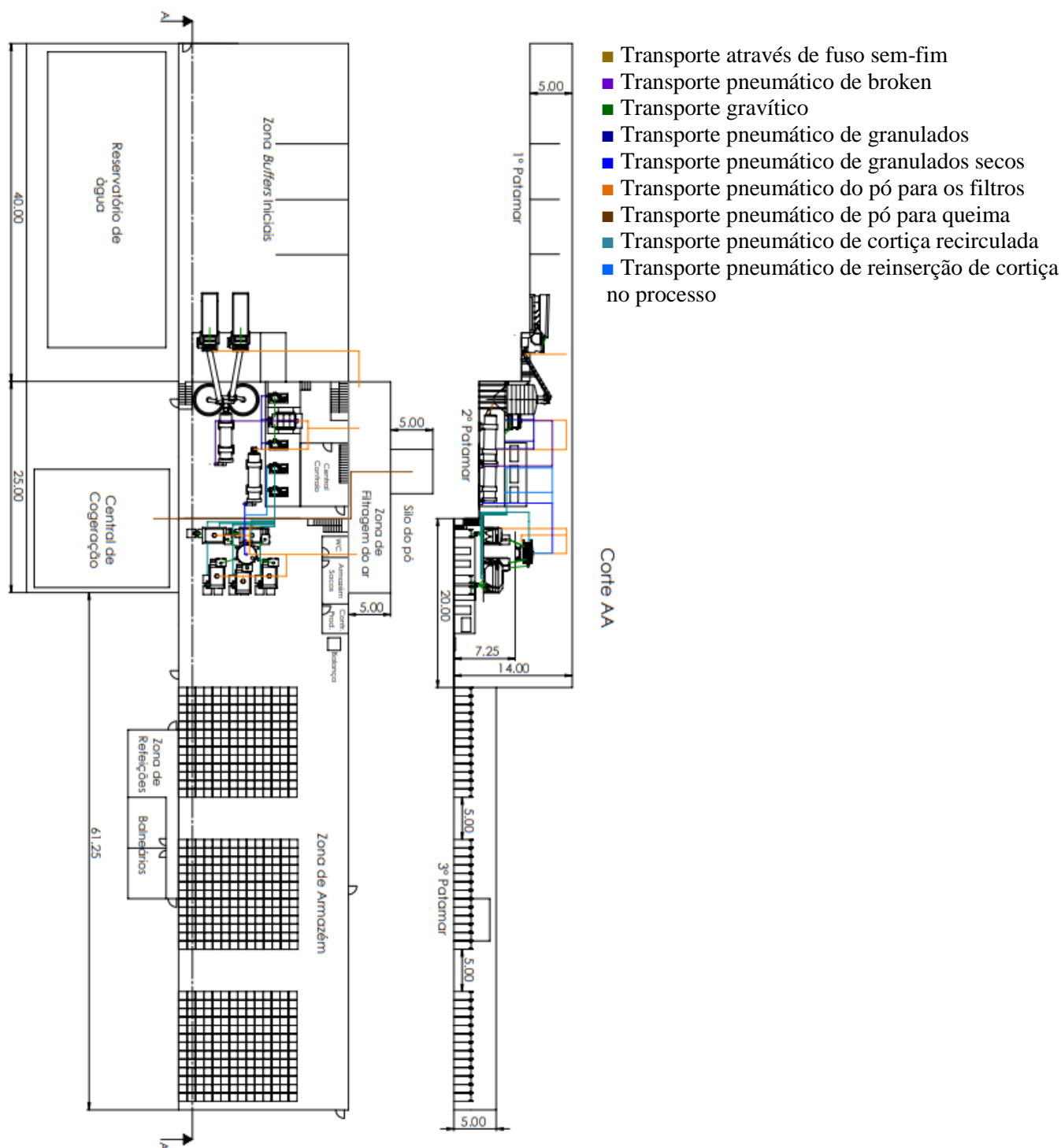


Figura 5.35 – Layout final

5.15 Redes adicionais da Indústrias

5.15.1 Rede de Ar comprimido

A rede de ar comprimido da fábrica terá como principais funções a atuação das sete válvulas desviadoras presentes no processo (duas após a primeira trituração e cinco abaixo das mesas densimétricas), a limpeza dos filtros de ar e a limpeza interna dos três silos presentes no processo.

Para além disso serão instaladas saídas de ar comprimido, junto à zona dos trituradores primários e secundários, na área de apoio anexa aos trituradores primários, na oficina, e na zona junto às mesas densimétricas.

A nível da potência requeridas pelo processo, as válvulas desviadoras são mecanismos que necessitam de relativamente pouco ar e que em média serão atuados com uma frequência inferior à horária, não requerendo grandes caudais nem pressões associadas. Quanto aos silos, para uma limpeza eficaz também não são exigidas pressões excessivamente grandes. Assim sendo uma pressão de 5.5 bar foi estabelecida como o necessário para o correto funcionamento do processo. Através do estabelecimento de uma pressão relativamente baixa, a rede de ar comprimido torna-se menos exigente a nível energético e reduz a probabilidade de surgirem fugas no sistema.

Para as condições descritas, a hipótese de adquirir um compressor associado a um reservatório de pressão, irá aumentar o tempo de vida do compressor e garantir as necessidades da fábrica. O reservatório seria de forma cilíndrica, com um diâmetro de cerca de 0.5 metros e uma altura de 2 metros. Na Figura 5.36 está representada a rede pneumática, e pintado a azul, junto à estação de controlo de produção, a área destinada à instalação do compressor e do reservatório.

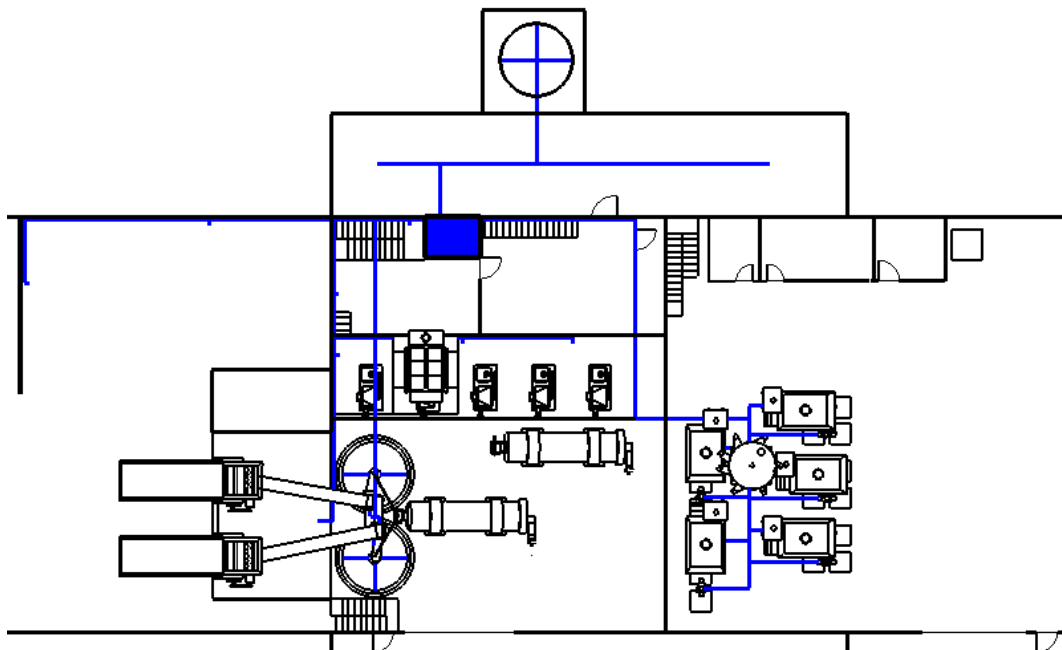


Figura 5.36 – Rede de ar comprimido

- Compressor

Em relação ao compressor, uma das maiores empresas deste tipo de equipamento é a ATLASCOPO, presente em praticamente todos os países do mundo. A característica que destaca este produtor da restante concorrência é a eficiência energética que se consegue obter nos seus produtos. Para a aplicação na indústria de trituração, foi escolhido um compressor da gama GA VSD+, a última geração de compressores de parafuso a óleo da empresa. Esta para além das vantagens de durabilidade, facilidade de manutenção e eficiência térmica associada mundialmente como características desta marca, este modelo apresenta um sistema de controlo inteligente do caudal de ar a produzir através de um modelador de frequência associado ao motor elétrico do compressor em constante *feedback* com as exigências da linha.

Foi escolhido então o modelo GA 15 VSD +, com 15 kW de potência nominal ilustrado na Figura 5.37. Tem capacidade de variar a pressão produzida entre os 5.5, 7, 9.5 e 12.5 bar e caudal disponível variável entre 25 a 150 m³/h. A brochura do equipamento encontr-se em anexo.



Figura 5.37 – Compressor GA 15 VSD +

5.15.2 Rede Anti-Incêndio

A rede anti-incêndio é dos constituintes mais importantes de uma fábrica de trituração de cortiça. Ao longo dos anos, muitos foram os incidentes que poderiam ser evitados se o planeamento destas estruturas fosse feito de uma maneira mais cautelosa. O presente projeto procura colmatar estas falhas desde cedo, sendo que várias medidas foram tomadas ao longo do trabalho como formas de prevenção das principais causas de incêndio (ausência de transporte pneumático na fase da trituração inicial, separação das tubagens do pó em 3 circuitos independentes, definição de distâncias de segurança entre os componentes críticos e o edifício da fábrica, etc). Para além destas medidas, serão introduzidos sistemas passivos e ativos de prevenção de incêndios:

- Tanque de água

Como ponto de partida, será contruído junto à lateral do edifício do processo, um reservatório de água com capacidade para 1 015 m³ cujas dimensões estão representadas na Figura

5.39. O reservatório será alimentado com recurso a um furo de água, e terá associado ao mesmo uma estação de bombagem que irá garantir a pressão ao longo de toda a rede de prevenção de incêndios.

- *Sprinklers*

O sistema de *sprinklers*, em caso de incêndio, desempenha uma função crucial na contenção do avanço das chamas, sendo muitas vezes responsável pela extinção dos fogos.

A zona mais crítica de instalação destes aparelhos será nas tubagens de transporte pneumático da cortiça e de pó, onde a propagação das chamas se apresenta como um risco maior. No interior dos silos será também instalada uma saída de água, bem como nos filtros do ar, abrangendo assim os sistemas com maior risco de incêndio.

Para além destes equipamentos, toda a área da fábrica estará coberta por *sprinklers*, estando instalados no teto do edifício. Serão ainda instalados na oficina de manutenção, e nas zonas intermédias da última montagem (acima das mesas densimétricas e da zona de ensaio).

Existirão ao longo de todo o comprimento da fábrica 4 tubagens de alimentação dos *sprinklers*. Nas zonas do processo, associadas a um elevado risco de incêndio, os *sprinklers* encontram-se em intervalos de 4 metros entre si, e nas zonas de armazenamento, com um menor risco associado de 5 em 5 metros. A temperatura de atuação destes aparelhos será os 68°C, que é normativamente representada pela cor vermelha do líquido no interior do bulbo (NFPA 13, 2018).

- Válvulas de fecho automático

Serão instaladas ao longo da rede pneumática várias válvulas de atuação automática em caso de incêndio para formar uma barreira física à propagação dos incêndios através das condutas, tal como referido no subcapítulo 4.14.4. Esta opção construtiva, associada à introdução de *sprinklers* entre cada conduta deste tipo, apresenta-se como o sistema de proteção ativa mais importante da instalação.

- Chapas magnetizadas

A magnetização do último rolo do tapete rolante e a introdução de chapas magnetizadas na tolva de alimentação do secador e após o primeiro peneiro, apresentam-se como um sistema de intercetção de objetos metálicos, reduzindo o risco de chipas na rede pneumática após a trituração.

- Sistema de extinção de chispas ou faúlhas

O sistema pneumático é em muito responsável pelos incêndios gerados nas indústrias de trituração, em particular o transporte do pó de cortiça, um material extremamente inflamável. Através de uma pesquisa de métodos alternativos de segurança, um método utilizado maioritariamente em indústrias de corte a laser e de soldadura foi tido em consideração.

O sistema de extinção de chispas funciona à base da transição do regime laminar do ar que circula nas condutas para o regime turbulento. Esta transição é feita através de um conjunto de pás presentes na estrutura cônica apresentada na Figura 5.38, e irá arrefecer o ar em torno de cada chispa, extinguindo-a. A introdução de um equipamento destes, associado a cada uma das 3 tubagens de transporte do pó iria reduzir significativamente o risco de incêndio nos filtros de ar e no silo do pó. Este sistema será particularmente importante no transporte do pó proveniente dos primeiros trituradores. Tem a vantagem de não necessitar de energia, aumentando, no entanto, as perdas de carga associadas ao transporte pneumático. A nível de manutenção, estes equipamentos têm integrados sistemas de limpeza através de fluxos de ar comprimido, não requerendo qualquer tipo de manutenção adicional.



Figura 5.38 – Exemplo de um sistema anti chispas

- Extintores

Para além do sistema de *sprinklers*, a fábrica terá disponível extintores em vários pontos estratégicos do processo, sendo para além da sua presença física, necessário formar os operadores do processo em como agir em caso de incêndio e quais os procedimentos a seguir.

Na Figura 5.39 poderá encontrar-se um esquema simplificado da rede anti-incêndio.

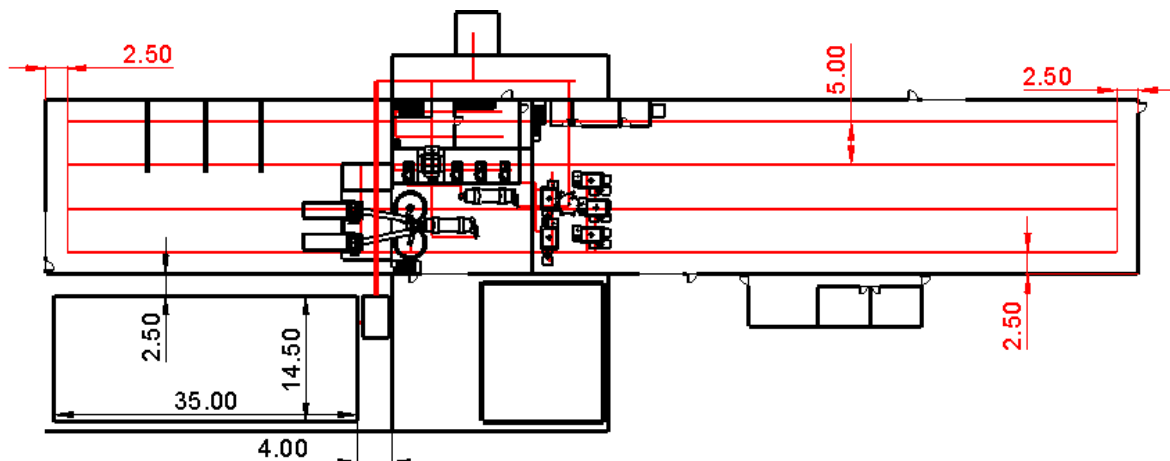


Figura 5.39 – Rede anti-incêndio

5.15.3 Rede Elétrica

Em relação à potência necessária da rede elétrica, um levantamento do máximo consumo de cada equipamento existente será feito de forma a perceber a energia a contratar (Tabela 5.4).

Tabela 5.4 – Potências requeridas pelo processo

Equipamento	Potência [kW]	Quantidade	Potência total necessária [kW]
Trituradores DGS 1500	55	2	110
Tapete rolante	3.0	2	6.0
Transportador sem-fim	2.2	2	4.4
Secador	4.0	2	8.0
Peneiro ASM - 300	2.2	1	2.2
Trituradores secundários	75	5	375
Peneiro GKM - 2400	5.5	1	5.5
Mesas Densimétricas GA 210	12.1	5	60.5
Transporte Pneumático	150	-	150
Iluminação	20	-	20
Compressor GA 15 VSD +	15	1	15
Oficina	15	-	15
TOTAL	-	-	771.6

Através da soma de todas as parcelas de energia requeridas, concluiu-se que a potência a contratar, no máximo das capacidades de produção da fábrica será próximo dos 800 kW.

A nível dos equipamentos encontrados ao longo do processo, as suas potências estão disponibilizadas nos catálogos dos produtos. Quanto aos restantes itens descritos, foram estimados de maneira a majorar a potência requerida.

Em relação a oficina, foi considerada a utilização de equipamentos de soldadura, rebarbadoras, berbequins, máquinas de polir, etc., sendo reservados cerca de 15 kW para a utilização destes aparelhos. Esta potência seria utilizada esporadicamente, sendo, no entanto, necessário considerá-la no total requerido pela indústria.

A energia requerida para a iluminação do processo foi estimada com o intuito de garantir cerca de 300 a 400 lux em toda a zona do processo, e cerca de 200 lux na zona de armazém de matéria-prima e de produto final. Na oficina de manutenção, na sala de controlo do processo e na sala de controlo de produção, estes valores deverão ser superiores, cerca de 500 lux (Zumtobel, 2018). Esta potência reflete o consumo noturno do edifício, visto que o edifício será construído com entradas de luz natural ao longo do processo, sendo importante dividir a iluminação em vários grupos, permitindo ajustar a luminosidade às diferentes necessidades consoante as condições climáticas e a hora do dia.

A potência térmica requerida pelos secadores não foi considerada na tabela, sendo o valor apresentado apenas responsável pela rotação dos equipamentos.

O ponto de entrada da energia da rede na fábrica será na zona adjacente ao portão de entrada representado na Figura 5.40 onde será edificado o posto de transformação.

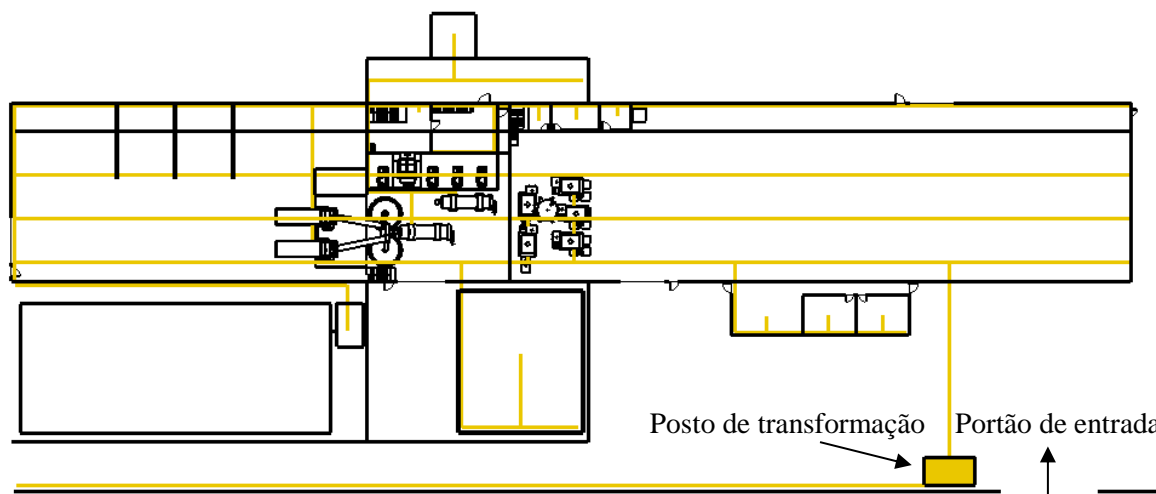


Figura 5.40 – Representação da rede elétrica

5.15.4 Postos de Trabalho

Em relação aos postos de trabalho necessários ao processo, serão necessárias 5 pessoas a tempo inteiro por turno.

Será empregue um operador que terá como função a manutenção dos níveis de cortiça nos silos e nos *buffers* iniciais de cortiça, alimentando através de um pá-carregadora os transportadores vibratórios do primeiro nível do processo.

Existirão na central de controlo do processo 2 operadores responsáveis pelo supervisionamento dos equipamentos. Estes operadores controlarão as várias variáveis do processo, tais como o caudal ou a mistura das qualidades da cortiça a partir da central, sendo que também lhes compete a função ajustar os parâmetros dos equipamentos. Serão também responsáveis pela inspeção dos equipamentos, das suas condições de funcionamento e pela intervenção nos mesmos em caso de avaria.

Na zona de ensaque estará um operador com a função de trocar os sacos cheios por outros vazios. Este trabalhará em parceria com o operador do empilhador que irá transportar os sacos até à zona de armazenamento. Este último será também responsável pelo processo de registo do peso e impressão da referência do produto.

5.16 Controlo da Produção e Eficiência da Matéria-prima

A nível de controlo da produção, a principal forma de verificar os *outputs* da indústria de trituração é através do sistema de medição do peso de cada um dos sacos (subcapítulo 5.9). Através do registo destes valores nas referências produzidas, o peso à saída do processo será inserido automaticamente numa base de dados que registará o total de granulados a expedir como produto final, diferenciando-se da utilização de valores médios por saco da indústria tradicional.

Contudo, nesta fase final, já muita da matéria-prima que deu entrada no processo foi retirada como terras ou poeiras. Um controlo das perdas permite perceber quais os processos críticos da indústria e possibilita uma intervenção focada nessas zonas, quer nos aparelhos em si como nos parâmetros a ajustar. Outra consideração importante, dado o poder energético do pó da cortiça, é quantificar o seu consumo na geração de energia térmica ou elétrica na central de cogeração. Esta parcela tem interesse na correta determinação do rendimento real da matéria-prima.

A instalação de medidores de vazão ou de fluxo em locais estratégicos da instalação como nas zonas de descarga dos granulados para os silos, ou nas zonas posteriores às de remoção de pó permitiria uma avaliação concisa do rendimento do processo a nível de produção de granulados. Posteriormente, à saída dos silos de pó um controlo através destes mesmos aparelhos da alimentação dos fornos de queima permitiria saber as quantidades consumida de pó utilizada na produção da energia térmica e elétrica registada.

6 Conclusão

A indústria de trituração de cortiça apresenta-se como uma indústria algo estagnada devido à pouca concorrência existente no mercado e à falta do dinamismo que esta impõe entre indústrias competidoras. Relacionado com esse fator, a ausência de investimento no desenvolvimento do processo desatualizou as fábricas existentes, permanecendo praticamente inalteradas ao longo de décadas de funcionamento.

Procurando reverter esta situação, ao desenvolver o processo desde a fase conceptual, foi possível abordar a trituração de cortiça com novos olhos, encontrando falhas nos sistemas antigos e procurando corrigi-las ou eliminá-las através da implementação de novas ideias e tecnologias. Desde que a cortiça chega à unidade industrial, até que sai como produto final, praticamente todos os sistemas foram repensados e inovados.

Utilizando como ferramentas a Teoria Axiomática de Projeto e o *Design for Maintainability*, foi feita uma análise criteriosa do processo tradicional e alcançadas soluções alternativas que apresentam características superiores às encontradas nas fábricas atuais. Através do uso destas teorias e do seguimento de um raciocínio que permitiu encadear as várias inovações introduzidas, foi possível alcançar um processo mais eficiente a nível do aproveitamento da matéria-prima, mais seguro e com uma pegada ambiental inferior. Das inovações referidas, destacam-se:

- As melhorias a nível do controlo da alimentação, do caudal e da qualidade da matéria-prima ao longo das várias etapas e a influência positiva que essas alterações terão na facilidade de ajuste dos parâmetros e, por conseguinte, na eficiência dos vários equipamentos da fábrica
- As melhorias significativas a nível de segurança impostas tanto por equipamentos de prevenção introduzidos bem como novas abordagens face aos mecanismos conhecidos por originar os incêndios
- A redução de cerca de 40% da rede pneumática em relação às indústrias tradicionais, a escolha de equipamentos mais eficientes a nível energético e o desenvolvimento do processo em patamares desfasados em altura permitiu reduzir significativamente o consumo energético da implantação, que aliada a central de cogeração terá um efeito muito significativo na rentabilidade do processo.

Foram assim atingidos os objetivos iniciais da dissertação, obtendo a nível conceptual uma visão modernizada e otimizada do processo de trituração.

O presente trabalho vem ainda reforçar a ideia de que a atividade de projetar, quando feita com recurso a teorias e metodologias de projeto, apresenta em geral melhores resultados do que o

processo tradicional, sendo mais fácil para o projetista obter uma visão abrangente e mais consolidada dos sistemas, equipamentos ou componentes que está a idealizar.

Utilizando os conceitos da Teoria Axiomática, ao garantir a independência entre os vários DPs no caso concreto de um equipamento, mais do que uma vez ao longo da dissertação, as alterações feitas num dado sistema vieram a revelar-se vantajosas quando analisando o sistema seguinte. Este fator reforça a eficiência da Teoria Axiomática e da importância da independência entre componentes num projeto no sentido em que as dependências de um equipamento poderão também influenciar sistemas que seriam idealmente independentes entre si.

Em relação ao *Design for maintainability*, esta teoria revelou ser uma mais valia para a definição do *layout* final da fábrica. A sua consideração nas fases iniciais do projeto obrigou a que a abordagem feita tivesse sempre em consideração não só o funcionamento normal dos equipamentos, mas também os modos de falha e as operações de intervenção nos mesmos. Estas considerações, ao porem em causa situações habitualmente dadas como certas, levaram mais do que uma vez a que novos *layouts* fossem idealizados, por exemplo, a definição da capacidade dos silos e do sistema de válvulas desviadoras associadas aos moinhos primários.

Em suma, o desenvolvimento deste projeto permitiu uma reavaliação de toda a indústria de trituração e a obtenção de um *layout* que junta novas teorias e equipamentos a conhecimentos obtidos através de anos de produção. Caso atualmente se procurasse edificar uma nova unidade industrial, o presente trabalho apresentar-se-ia como um bom ponto de partida para o desenvolvimento do projeto final.

Bibliografia

- APCOR. (2018). APCOR – Cortiça.
- APCOR – Anuario. (2015).
- APCOR – Descortiçamento. (2017).
- Apolinário, J. (2017). Melhoria da Fiabilidade de uma Unidade de Trituração de Cortiça.
- Astec. (2018). Astec Baghouses. Retrieved July 28, 2018, from <http://www.astecinc.com/products/emission-control/astec-baghouses.html>
- CargoHandbook. (2018). Bulk Bags - Cargo Handbook - the world's largest cargo transport guidelines website. Retrieved August 1, 2018, from http://www.cargohandbook.com/index.php/Bulk_Bags
- CBE. (2018). Bagging Equipment | Bag Filling Machines - Choice Bagging Equipment. Retrieved August 1, 2018, from <https://www.choicebagging.com/>
- CIMBRIA. (2018a). *CIMBRIA.COM*. Retrieved from http://www.cimbria.com/Files/Images/Brochurer_filer/GravitySeparator_GB_web.pdf
- CIMBRIA. (2018b). Gravity Separator GA 210. Retrieved August 4, 2018, from http://www.cimbria.com/Files/Images/cimbria/products/Seed-processing/Gravity_separator/Data_sheets/Gravity_Separator_GA210_1040505_GB.pdf
- DGM. (2018). DGS- Universal Single Shaft Shredder – DGM. Retrieved September 9, 2018, from <http://en.dgm-machinery.com/project/dgs-universal-single-shaft-shredder/>
- Dodbiba, G., & Fujita, T. (2015). Chapter 12 – Air tabling – A Dry Gravity Solid-Solid Separation Technique. In *Progress in Filtration and Separation* (pp. 527–555).
- EUROPESHREDDERS. (2018). Single Shaft Shredder TIGER Industrial shredders DUTCH. Retrieved August 29, 2018, from <https://www.europeshredders.com/en/shredders/single-shaft-shredder/tiger-shredder>
- Ferreira, J. (2017). Contributos para o aumento do rendimento de uma unidade de trituração de cortiça.
- FLUCAL. (2018). Water/Fire tube Steam boiler 6 MW - Flucal. Retrieved September 4, 2018, from <https://www.flucal.pt/en/projeto/waterfire-tube-steam-boiler-6-mw/>
- FPS. (2018). Sprinkler systems – Fire Protection Solutions Brandschutz und Feuerschutz. Retrieved August 29, 2018, from <http://www.fire-protection-solutions.com/products/sprinkler-systems/?lang=en>

- Gonçalves-Coelho, A. M., Neştian, G., Cavique, M., & Mourão, A. (2012). Tackling with redundant design solutions through Axiomatic Design. *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing*, 13(10), 1837–1843.
- Koriumunique. (2014). Brocas Cortiça.
- LEILOSOC. (2018). Leilosoc, SA. Retrieved September 23, 2018, from <http://www.leilosoc.co.mz/Bens-Info-Imprimir.aspx?tp=lpd&bi=48942&b=21877&p=moveis&t=movei&bl=False>
- Mourão, A. (1999). Introdução à Engenharia Simultânea e ao Projecto para Fabrico e Montagem.
- NASA. (2008). Cynitha.null. Retrieved September 20, 2018, from <https://www.slideshare.net/NASAPMC/cynithanull>
- NASA. (2018). DESIGN FOR MAINTAINABILITY. Retrieved September 20, 2018, from <https://msis.jsc.nasa.gov/sections/section12.htm>
- NFPA 13. (2018). NFPA 13: Standard for the Installation of Sprinkler Systems. Retrieved September 17, 2018, from <https://www.nfpa.org/codes-and-standards/all-codes-and-standards/list-of-codes-and-standards/detail?code=13>
- Nier Systems. (2018). Bulk Bags - Nier Systems Inc. Retrieved August 1, 2018, from <http://www.niersystems.com/bulk-bags.html>
- OLHAPIM. (2011). Olhapim.
- Park, G.-J. (2007). *Analytic methods for design practice*. Springer.
- Pecheur. (2016). POUDRE DE LIEGE RIG MAROLE CORK PARTICLES.
- PRODUTIVA. (2018). Peneiros Metálicos Tipo A. Retrieved July 3, 2018, from <http://www.produtiva.net/pt/product/peneiros-metalicos-tipo-a>
- PUBLICO. (2016). Publico.
- RAWMEC. (2018). DGM 1500 Single Shaft Shredder - Granulators & Shredders for sale. Retrieved September 9, 2018, from <https://www.granulatorsforsale.com/product/dgm-1500-single-shaft-shredder/>
- S&F GmbH. (2018). Oscillating screens | Oscillating screening machines - S&F GmbH. Retrieved August 27, 2018, from <https://www.sf-gmbh.de/en/oscillating-screens.html>
- STET. (2018a). Mini Pá Carregadora de Rodas 226D. Retrieved July 2, 2018, from https://www.stet.pt/index.cfm/pt/maquinas/mini-pas-carregadoras-de-rodas/226d/page_over/printFlag_false/sc_/unit_
- STET. (2018b). Pá Carregadora de Rodas 910M. Retrieved July 2, 2018, from https://www.stet.pt/index.cfm/pt/maquinas/pas-carregadoras-de-rodas-compactas/910m/page_over/printFlag_false/sc_/unit_

Suh, N. P. (1990). *The principles of design*. Oxford University Press.

Suh, N. P. (2005). *Complexity : theory and applications*. Oxford University Press.

TEQUIMAQ. (2018). ...: Tequimaq © Máquinas para a Indústria Química e Corticeira ::...

Retrieved July 12, 2018, from <http://www.tequimaq.pt/index.html>

Van Ormer, H. (2018). The Importance of Particle Velocity in Dilute Phase Pneumatic Conveying | Blower & Vacuum Best Practices. Retrieved July 12, 2018, from <https://blowervacuumbestpractices.com/system-assessments/conveying/importance-particle-velocity-dilute-phase-pneumatic-conveying>

Zumtobel. (2018). *The Lighting Handbook Your concise reference book*. Retrieved from <https://www.zumtobel.com/PDB/teaser/EN/lichthandbuch.pdf>

Anexos

- I – AXIOMATIC DESIGN THEOREMS (Suh 2015)
- II – DGM DGS 1500
- III – S&F ASM 300
- IV – GKM KTS 2400
- V – CIMBRIA GA210
- VI – BAXTRAN IF 1500
- VII – ATLASCOPO GA 15 VSD +
- VIII – 43117.1 – Montagem do primeiro patamar
- IX – 43117.2 – Montagem do segundo patamar com respetiva rede pneumática
- X – 43117.3 – Montagem do terceiro patamar com respetiva rede pneumática
- XI – 43117.4 – Planta Interior
- XII – 43117.5 – *Layout* final do processo com representação da rede pneumática

Axiomatic Design

Axioms, Corollaries and Theorems

Axiom 1 (The independence axiom)	Maintain the independence of the functional requirements (FRs).
Axiom 2 (The information axiom)	Minimize the information content of the design.

Corollary 1 (Decoupling of coupled designs)	Decouple or separate parts or aspects of a solution if FRs are coupled or become interdependent in the designs proposed.
Corollary 2 (Minimization of FRs)	Minimize the number of FRs and constraints.
Corollary 3 (Integration of physical parts)	Integrate design features into a single physical part if the FRs can be independently satisfied in the proposed solution.
Corollary 4 (Use of standardization)	Use standardized or interchangeable parts if the use of these parts is consistent with FRs and constraints.
Corollary 5 (Use of symmetry)	Use symmetrical shapes and/or components if they are consistent with the FRs and constraints.
Corollary 6 (Largest design ranges)	Specify the largest allowable design range in stating FRs.
Corollary 7 (Uncoupled design with less information)	Seek an uncoupled design that requires less information than coupled designs in satisfying a set of FRs.
Corollary 8 (Effective reangularity of a scalar)	The effective reangularity R for a scalar coupling “matrix” or element is unity.

Theorem 1 (Coupling due to insufficient number of DPs)	When the number of DPs is less than the number of FRs, either a coupled design results or the FRs cannot be satisfied.
Theorem 2 (Decoupling of coupled design)	When a design is coupled because of a larger number of FRs than DPs (i.e., $m > n$), it may be decoupled by the addition of new DPs so as to make the number of FRs and DPs equal to each other if a subset of the design matrix containing $n \times n$ elements constitutes a triangular matrix.
Theorem 3 (Redundant design)	When there are more DPs than FRs, the design is a redundant design, which can be reduced to an uncoupled design or a decoupled design, or a coupled design.
Theorem 4 (Ideal design)	In an ideal design, the number of DPs is equal to the number of FRs and the FRs are always maintained independent of each other.
Theorem 5 (Need for new design)	When a given set of FRs is changed by the addition of a new Fr, by substitution of one of the FRs with a new one, or by selection of a completely different set of FRs, the design solution given by the original DPs cannot satisfy the new set of FRs. Consequently, a new design solution must be sought.

Theorem 6 (Path independence of uncoupled design)	The information content of an uncoupled design is independent of the sequence by which the DPs are changed to satisfy the given set of FRs.
Theorem 7 (Path dependency of coupled and decoupled design)	The information contents of coupled and decoupled designs depend on the sequence by which the DPs are changed to satisfy the given set of FRs.
Theorem 8 (Independence and design range)	A design is an uncoupled design when the designer-specified range is greater than $\left(\sum_{j=1}^n \frac{\partial FR_i}{\partial DP_j} \Delta DP_j\right)$ in which case the nondiagonal elements of the design matrix can be neglected from design consideration.
Theorem 9 (Design for manufacturability)	For a product to be manufacturable with reliability and robustness, the design matrix for the product, [A] (which relates the FR vector for the product to the DP vector of the product), times the design matrix for the manufacturing process, [B] (which relates the DP vector to the PV vector of the manufacturing process), must yield either a diagonal or a triangular matrix. Consequently, when either [A] or [B] represents a coupled design, the independence of FRs and robust design cannot be achieved. When they are full triangular matrices, either both of them must be upper triangular or both lower triangular for the manufacturing process to satisfy independence of functional requirements.
Theorem 10 (Modularity of independence measures)	Suppose that a design matrix [DM] can be portioned into square submatrices that are nonzero only along the diagonal. Then the reangularity and semangularity for [DM] are equal to the product of their corresponding measures for each of the nonzero submatrices. [Note: See Suh (1990).]
Theorem 11 (Invariance)	Reangularity and semangularity for a design matrix [DM] are invariant under alternative orderings of the FR and DP variables, as long as the orderings preserve the association of each FR with its corresponding DP.
Theorem 12 (Sum of information)	The sum of information for a set of events is also information, provided that proper conditional probabilities are used when the events are not statistically independent.
Theorem 13 (Information content of the total system)	If each DP is probabilistically independent of other DPs, the information content of the total system is the sum of the information of all individual events associated with the set of FRs that must be satisfied.
Theorem 14 (Information content of coupled versus uncoupled designs)	When FRs are changed from one state to another in the functional domain, the information required for the change is greater than for a coupled design than for an uncoupled design.
Theorem 15 (design-manufacturing interface)	When the system compromises the independence of the FRs of the product, either the design of the product must be modified or a new manufacturing process must be designed and/or used to maintain the independence of the FRs of the products.

Theorem 16 (Equality of information content)	All information contents that are relevant to the design task are equally important regardless of their physical origin, and no weighting factor should be applied to them.
Theorem 17 (Design in the absence of complete information)	Design can proceed even in the absence of complete information only in the case of a decoupled design if the missing information is related to the off-diagonal elements.
Theorem 18 (existence of an uncoupled or decoupled design)	There always exists an uncoupled or a decoupled design that has less information than a coupled design.
Theorem 19 (Robustness of design)	An uncoupled design and a decoupled design are more robust than a coupled design in the sense that is easier to reduce the information content of designs than to satisfy the independence axiom.
Theorem 20 (Design range and coupling)	If the design ranges of uncoupled or decoupled designs are tightened, they may become coupled designs. Conversely, if the design ranges of some coupled designs are relaxed, the designs may become either uncoupled or decoupled.
Theorem 21 (Robust design when the design range has a nonuniform pdf)	If the probability distribution function (pdf) of the FR in the design range is nonuniform, the probability of success is equal to 1 when the system range is inside the design range.
Theorem 22 (Comparative robustness of a decoupled design)	Given the maximum design ranges for a given set of FRs, decoupled designs cannot be as robust as uncoupled designs in that the allowable tolerances for the DPs of decoupled design are less than those of an uncoupled design.
Theorem 23 (Decreasing robustness of a decoupled design)	The allowable tolerance and the robustness of a decoupled design with a full triangular matrix diminish with an increase in the number of functional requirements.
Theorem 24 (Optimum scheduling)	Before a schedule for a robot motion or factory scheduling can be optimized, the design of the tasks must be made to satisfy the independence axiom by adding decouplers to eliminate coupling. The decouplers may be in the form of a queue or separate hardware or buffer.
Theorem 25 (“Push” system versus “pull” system)	When identical parts are processed through a system, a “push” system can be designed with the use of decouplers to maximize productivity, whereas when irregular parts requiring different operations are processed, a “pull” system is the most effective system.
Theorem 26 (Conversion of a system with infinite time-dependent combinatorial complexity to a system with periodic complexity)	Uncertainty associated with a design (or a system) can be reduced significantly by changing the design from one serial combinatorial complexity to one of periodic complexity.

in: Suh, N. P. (2005): “Complexity: Theory and Applications”, Oxford University Press, N.Y. p 23;44-48.



High screening performance



No trapped and clogged material



Low noise and low maintenance



Exceptional economic efficiency



Extremely reliable



Flexible in use



Can be integrated in existing plants

About S&F GmbH

The family-owned company established in 1990 supplies screening machines and conveying systems around the world to meet the specific requirements of different industries and customers. The company takes pride in its excellent, personal service and in the expertise of its employees. All machines are extensively tested and optimised at S&F for the various tasks.

The result: bespoke, long-lasting and service-friendly solutions.

- **Screening machines and systems**
- **Separating and screening plants**
- **Dosing and conveying plants**
- **Project planning**
- **Assembly and spare part service**



www.sfb-wettenburg.de



Oscillating screens

ASM series

Oscillating screens

ASM series

The S&F type ASM oscillating screen was specially developed for screening and separating dry and wet bulk materials. Thanks to the wide, circular and vibration-free horizontal oscillating movement of the oscillating screen, long chips or particles are rarely positioned vertically. The robust construction of the screening machine combined with our many years of experience in the production of screening machines guarantee a long, low-maintenance service life. Screening machines in the ASM series offer screen sizes from 0.5 to 24 m² and throughputs up to 350 m³/h.

Function description:

The material mixture to be screened is fed evenly into the feed hopper of the screening machine with the help of a dosing system, a conveying system or a similar system. In the feed area, the bulk material to be screened is distributed over a flat surface and fed into the inclined screen area.

The horizontal-circular oscillating movement of the screening machine makes the difference

The eccentric shaft with a counterweight induces rapid, horizontal-circular vibratory movement in the oscillating screen. The screen box is supported on special rubber-sprung elements. The plane, eccentric oscillating movement ensures that the material fed in is constantly in motion and flows over the screen areas towards the outlet.

Material to be screened remains flat = no trapped and clogged material

Rotating screening movements spread the material horizontally. Long, fibrous or pencil-shaped particles slide over the screening surface of the screening machine. As a result, the problem of long narrow parts (e. g. slivers) standing upright (trapped material) or falling through is all but eliminated.

Compared with vibration technology, this advantage of this screening method is that the material is screened gently. This has a positive impact on screening quality. The material mixture to be screened, which is smaller than the apertures of the screening element, falls through the screen. From there, it moves on to the next screening stage, if required. This procedure repeats until all of the material has been screened. The screened material is then removed from the oscillating screen via the relevant outlet openings and conveyed by corresponding discharge devices to the downstream processes.

Application areas:

Oscillating screens are used in the wood processing industry (saw-mills, pelletising industry, the chipboard and fibreboard industries, the paper and cellulose industry, in biomass power stations, and by producers of wood fuels). They also serve the recycling industry (waste wood processing plants, recycling plants, alternative fuel power plants) as well as other areas of the waste management industry and environmental technology. They are also used in the animal feed industry, the seasoning industry, the plastics industry, in brick factories and many other sectors.

Materials to be screened:

S&F oscillating screens screen many types of wet and dry bulk material including wood chips, sawdust, pellets, wood shavings, biomass, bark, waste wood chips, alternative fuels and much more besides.

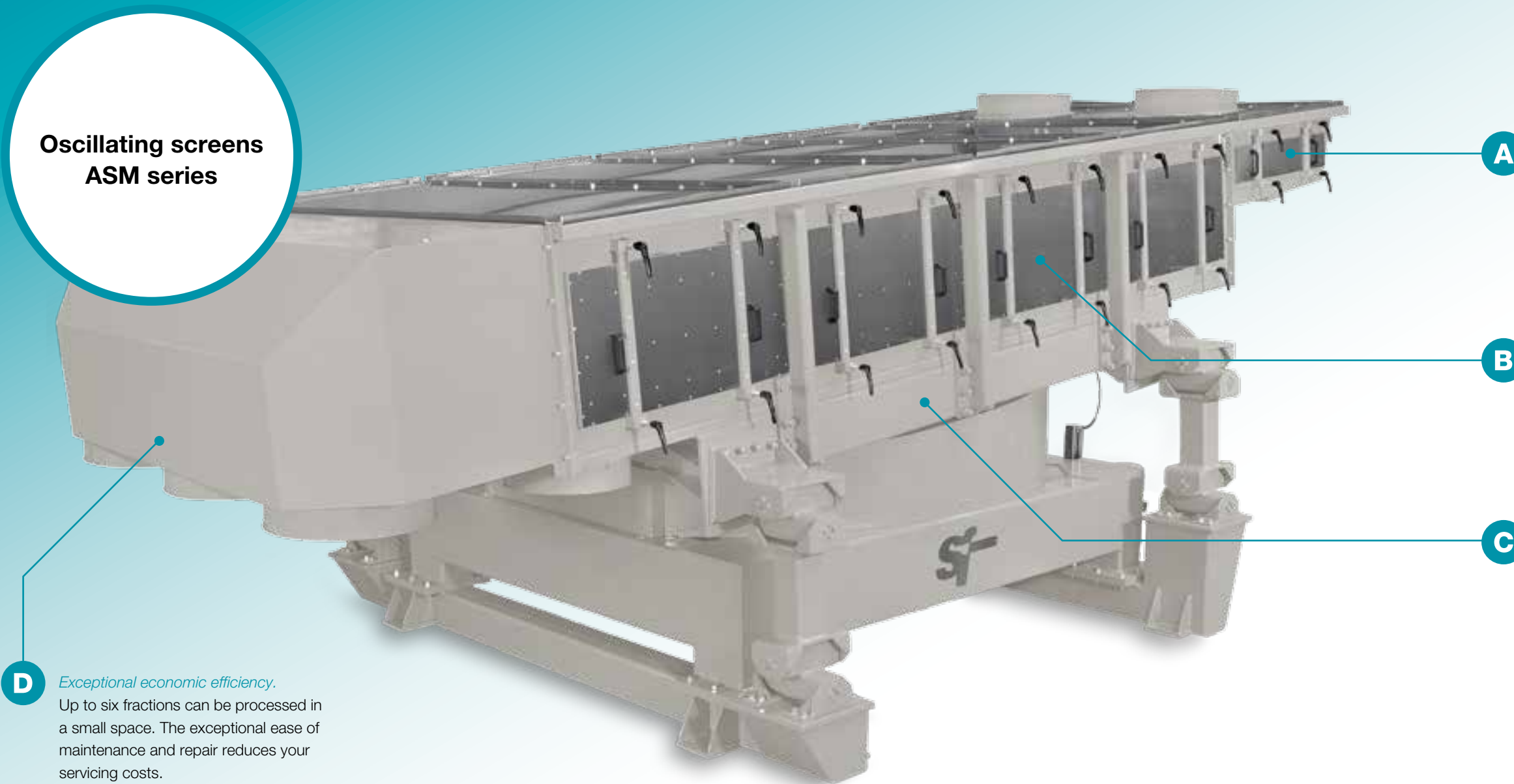
Advantages of S&F oscillating screens:

- **High screening performance;** the circular screening movement spreads the material more quickly. As a result, the entire installed screening surface is used.
- **High economic efficiency;** as up to six fractions can be handled in a single process in a compact space.
- **No trapped and clogged material;** the horizontal and rotating screening movement ensures that the material to be screened does not stand upright.
- **High separation precision;** thanks to planar screening movement and defined screening parameters, irrespective of the load in the screening machine.
- **Low noise and low maintenance;** the use of maintenance-free, long-lasting oscillating elements along with other high-quality components and materials.
- **Easy to repair;** thanks to good accessibility of bearing points and other wear parts.
- **Rapid screen replacement;** with simple screening attachment systems and standardised screening frames.
- **High reliability with low power consumption;** thanks to the use of energy-saving, high-efficiency motors.
- **High flexibility under changing conditions;** with easily replaceable screens and user-friendly operating parameters.
- **Low dynamic load on foundations;** the oscillating screen compensates the mass distribution, which means that it is perfectly balanced.
- **Material inlet and outlet positions freely configurable;** simplifying the design of the overall plant.
- **A wide variety of screening coatings can be used;** letting you respond quickly to different material parameters.
- **Different fractions in a single work process;** ensuring that a defined end product is created even in confined spaces.
- **Can be integrated in existing plants;** thanks to its compact design and custom configuration options.

Accessories and options:

- Screening machine with a dust-tight design
- “Double-decker” configuration
- Screen cleaning (e. g. rubber ball cleaning system)
- Central lubrication/automatic lubricant dispenser
- Bearing temperature monitor
- Flexible inlet and outlet collars (compensators)
- Pivoting motor base, self-adjusting
- ATEX design

Oscillating screens ASM series



A *Optimum screening performance with bulk materials. Long narrow parts cannot fall through.*
Wide, circular and vibration-free screening movements ensure that the material is horizontally aligned. This guarantees optimum results.

B *Easier and faster screen replacement.*
The screen flaps mounted at the side make it easier to replace the screens. This saves precious time.

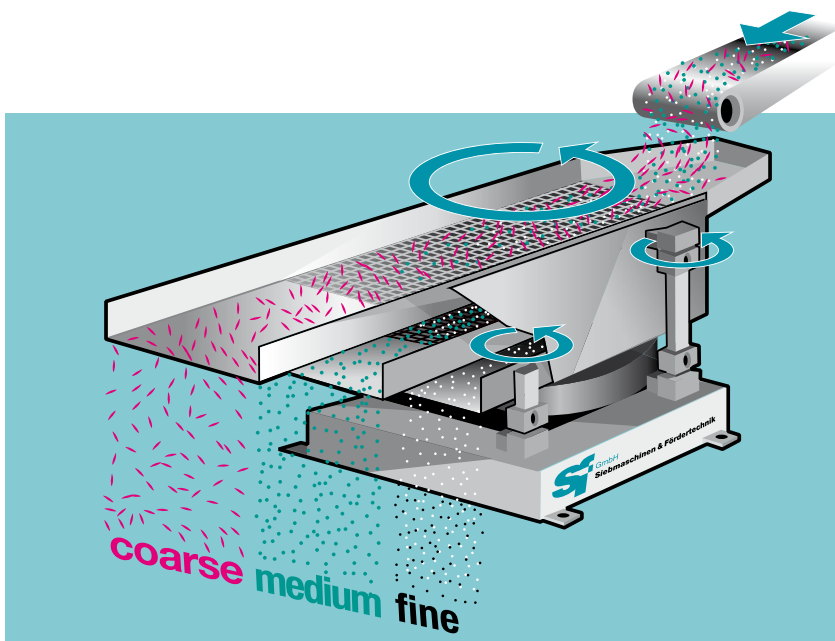
C *Exceptionally powerful.*
By using the entire installed screen area, the machine can handle up to 350 m³/h, depending on the bulk material used. The ASM is highly flexible and can be integrated in existing plants.

D *Exceptional economic efficiency.*
Up to six fractions can be processed in a small space. The exceptional ease of maintenance and repair reduces your servicing costs.

Technical Data:

	Performance [m³/h]	Total length [mm]	Total width [mm]	Total height [mm]	Length of screening area [mm]	Width of screening area [mm]	Weight [kg]	Drive output [kW]
ASM-50	5 – 10	1800	850	950	1000	500	350	0,55
ASM-75	7,5 – 15	1800	1200	950	1000	750	450	1,1
ASM-100	10 – 20	2100	1200	1050	1250	800	550	1,1
ASM-150	15 – 30	2600	1550	1150	1500	1000	1200	1,5
ASM-200	20 – 40	3300	1550	1420	2000	1000	1600	2,2
ASM-300	30 – 60	3300	2050	1420	2000	1500	1900	2,2
ASM-400	45 – 90	3500	2700	1800	2000/2300	2000	3200	3,0
ASM-600	60 – 120	5300	3040	2400	3450	2000	6000	4,0
ASM-800	80 – 160	6600	3040	2550	4550	2000	7300	5,5
ASM-1000	100 – 200	6600	3560	2800	4550	2500	9000	7,5
ASM-1200	200 – 350	7800	4060	2850	4950	2750	11000	11,0

All approx. specifications!



Functional principle of the screening machine

- The unsorted material is fed to the screen.
- The screening movement is circular and arranges the material so that it is flat.
- The screening machine separates the material mixture by using different screens of the required size classes.
- The screened material is then discharged via the corresponding outlet openings.



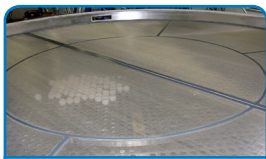
Take advantage of over 30 years experience in Screening and Process Technology

Ultimate Tumbler Screening Machine KTS

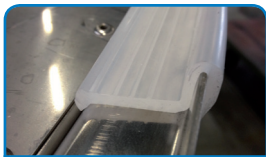
This screening machine is ideally suited to separate and dedust dry, powdered and granular products. Particularly suitable for high feed rates and multi deck separations of fine, lightweight and difficult to screen products.



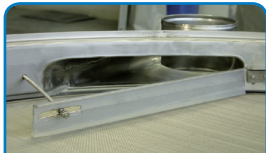
Standard



Self-centered screen inserts
(KTS 2400 Screens are made of two pieces)



Dust-proof
click-on system



Simple fine-tuning
with deflector



Statically and dynamically
balanced for vibration free
installation in steel structures



Options



Patented pneumatic
deck lifters/spanners



Patented manual
deck lifters



Quick clamps for easy
and fast screen exchange



ATEX
certified 

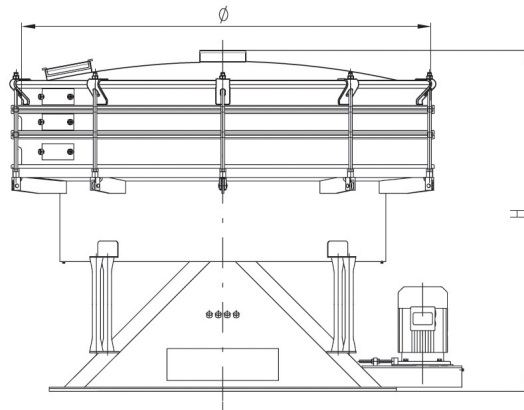
Your main benefits include ...

- Modular, self-centering and expandable design
- Up to 7 separations simultaneously on each machine
- Slow speed and three-dimensional motion for optimal screening
- Delivered ready to operate and optimized for each product (Plug & Play)
- Up to 100% availability in 24 h operation
- Low acceleration and low maintenance requirements, no product degradation
- Dustproof, CE compliant, FDA approved rubber and plastic materials
- Stainless steel 1.4301 intermediate rings and screen frame are standard
- Very competitively priced with short delivery times

Datasheet

Particle feed sizes:	1 µm – 20 mm
Feed rates:	1 kg/h – 50.000 kg/h
Bulk densities:	20 – 10.000 g/l
Mesh openings:	20 µm – 20 mm
Screens usable:	Stainless steel, plastic woven mesh cloth or perforated plates
No. of screen decks:	1 – 6 per machine
Anti blinding systems:	Rubber balls, Ultrasonic, rotating air nozzles, rotating roller brushes; combinations availably upon request
Speed range:	180 – 280 min ⁻¹
Screen movement:	Three-dimensional, set to product
Acceleration:	1.3 – 1.8 g / 60 – 80 mm horizontal und 5 – 40 mm vertical
Materials:	Carbon steel, stainless and special steels, rubber materials FDA compliant
Surfaces:	Painted, brushed or ground, mirror or electro polished for food and pharmaceutical products with a surface roughness of < 0.4 microns

Dimensions



Model sizes KTS	600	1000	1200	1600	2000	2400	2600
Screening area (m ²)	0.292	0.785	1.13	1.83	2.63	4.52	5.31
Diameter (mm) Ø	660	1010	1250	1580	1880	2450	2650
Motor power (kW)	0.25	1.50	2.20	4.00	4.00	5.50	5.50/7.50
Weight (kg):	280–300	750–950	900–1100	1280–1420	1300–1600	2400–2800	2500–2900
1 Deck (Height mm) H	811	936	1262	1291	1411	1584	1596
2 Decks (Height mm) H	926	1048	1375	1404	1524	1697	1707
3 Decks (Height mm) H	1041	1159	1488	1517	1637	1810	1820
4 Decks (Height mm) H	1140	1271	1601	1632	1750	1923	1933
5 Decks (Height mm) H	1271	1383	1714	1743	1864	2036	2046
6 Decks (Height mm) H	1386	1495	1827	1856	1977	2149	2159

GKM Siebtechnik GmbH

Felix-Wankel-Straße 11 · 74915 Waibstadt/Germany

Fon +49 (7263) 40972-0 · Fax +49 (7263) 40972-29 · info@gkm-net.de · www.gkm-net.de



GRAVITY SEPARATOR GA 210

Application

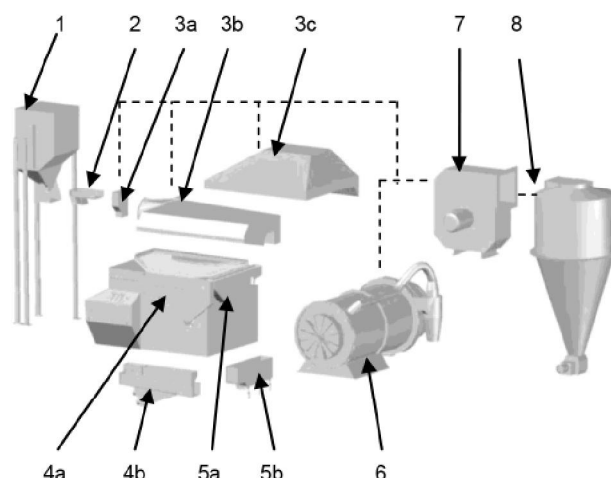
Grains or particles of almost identical size are fed continuously on the separating deck surface of the separator, providing a uniform bed of material over the deck surface.

Design

The deck is fluidised by a completely uniform pressurised air system stratifying the light material to the top of the product bed and allowing the heavy material to contact the deck surface. The deck is inclined from side to side and inlet end to discharge end at adjustable angles.

Working mode

The deck itself is powered by a well-balanced eccentric drive which moves the deck at low amplitude and high frequency up hill. The heavy material contacting a specially designed square wire deck surface moves up hill, while the light material fluidised by the air system moves down hill due to gravitational pull. A typical separation pattern is depicted below.



1. Intake pre-storage hopper
For intake adjustment between feeder-elevator and electro-magnetic feeder SP 18 incl. three level indicator switches.
Delivery with or without supporting legs.
2. Electro-magnetic feeder type SP 18
For a trouble-free, continuous feeding of the machines.
- 3a. Intake dust-aspiration hopper
Light dust and fine removals from the product to be cleaned.
Connection to central dust exhaust unit.
Air requirement: 12 m³/min, 300 Pa.
- 3b. Partial dust hood
In case of heavy dust formation, for the removal of dust from the incoming material and the light produce area. Connection to central dust exhaust or individual cyclone and ventilator.
Incl. Intake dust-aspiration hopper and frame.
Air requirement: 210 m³/min, 300 Pa.
- 3c. Full dust hood complete closed; suction over the whole table area. With frame.
Air requirement: 550 m³/min, 300 Pa.
- 4a. Discharge hopper for heavy product.
- 4b. Vibrating discharge trough for heavy product with stone trap.
- 5a. Vibrating discharge trough for light product.
- 5b. Bagging-off type hopper for design with base structure (required, if bagging-off type hoppers instead of discharge hopper will be supplied).
6. Cyclofan
7. Exhaust fan
With motor, without support structure.
8. Dust separating cyclone with rotary valve.

Capacity	
Corn, wheat, soybeans	10,0 t/h
Beans	4,8 t/h
Clover	3,0 t/h
Coffee (green)	6,7 t/h
Screen area	3,4 m²
Motors: (standard)	
Fan drive	11,0 kW
Reciprocating drive	1,1 kW
Air volume:	
Air requirements	470 m³/min
Dimensions	
Length	3288 mm
Width	1850 mm
Height	1440 mm
Total weight of separator	
Net	1830 kg
Dynamic loading at 7-12 Hz:	
PH=+/- 450 N PV=+/- 160 N (10N = 1 kg)	

Technical data can vary for certain of the above due to continued development or a different machine composition.

GA 15-37 VSD+: ULTIMATE ENERGY SAVERS

With its innovative vertical design, Atlas Copco's GA 15-37 VSD+ brings a game-changing revolution in the compressor industry. It offers Variable Speed Drive as standard, a compact motor and small footprint thanks to its in-house design and iPM (permanent magnet) technology. The GA VSD+ reduces energy consumption by on average 50%, with uptimes assured even in the harshest conditions.



1

Interior Permanent Magnet (IPM) motor

- Very high efficiency: exceeds IE3.
- Compact, customized design for optimal cooling by oil.
- Designed in-house in Belgium.
- IP66 vs. IP55.
- No cooling air flow required.
- Oil-lubricated motor bearing: no (re)grease(ing), increased uptime.

2

Element

- Made by Atlas Copco.
- Robust and silent.

3

Direct drive

- Vertical design, fewer parts.
- Oil-cooled, pressure-tight.
- No gears or belts, no shaft seal.
- Compact: footprint down 60%.

4

Innovative fan

- Based on the newest technologies.
- In compliance with ERP2015 efficiency.
- Low noise levels.



5

Robust oil filter/separator

- Integrated bypass valve with the oil filter.
- Easy maintenance.

6

Electronic no-loss water drain

- Included as standard.
- Efficient removal of condensate without loss of compressed air.
- Manual integrated bypass for effective condensate removal in case of power failure.



7

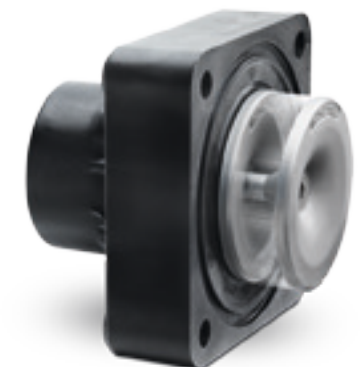
Elektronikon® controller

- Integrated smart algorithms reduce system pressure and energy consumption.
- Warning indications, maintenance scheduling and online status visualization.
- Graphic display of key parameters (day, week, month) and 32 language settings.

8

Sentinel inlet valve

- No inlet arrestor.
- No blow off losses.
- Maintenance free.



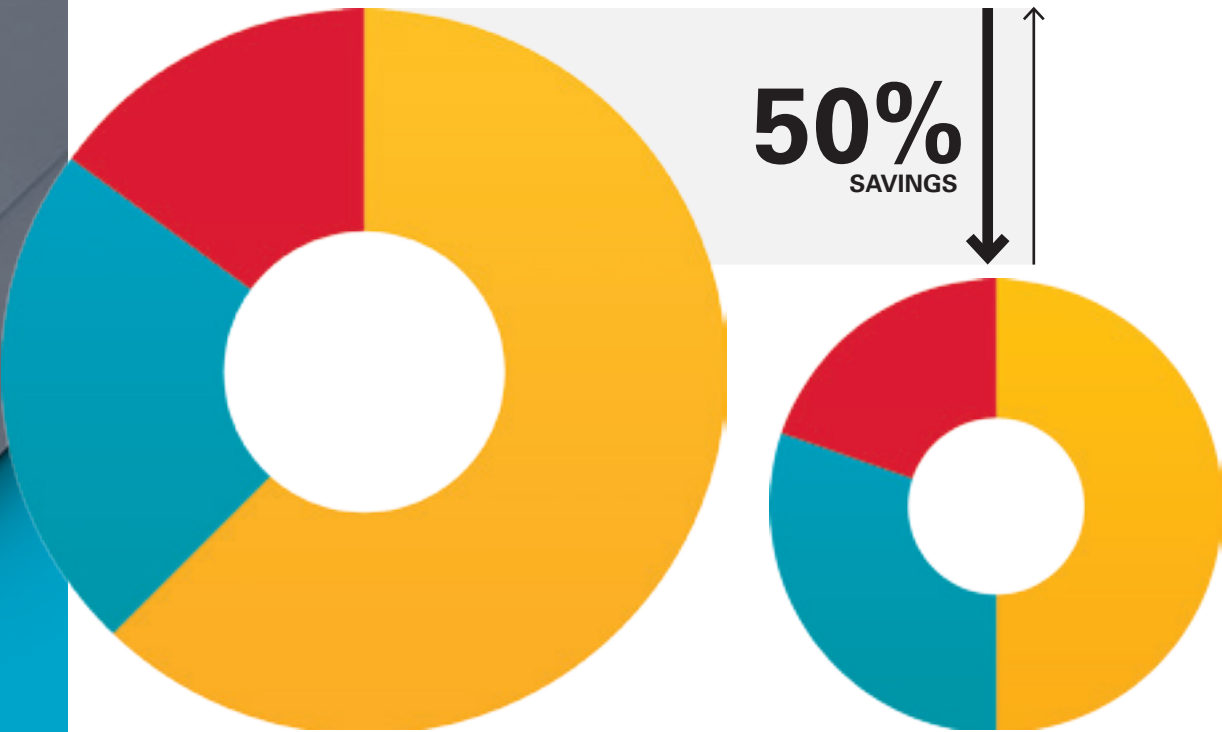
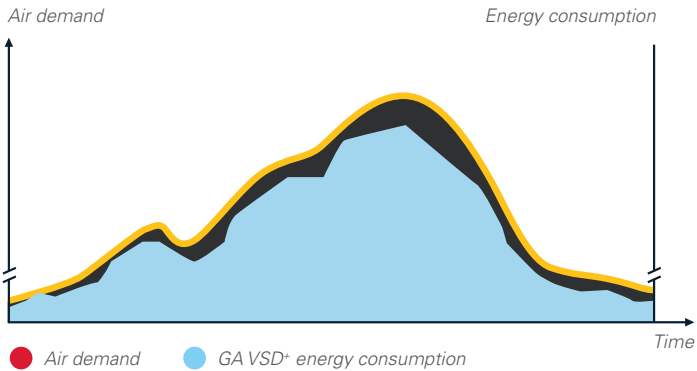
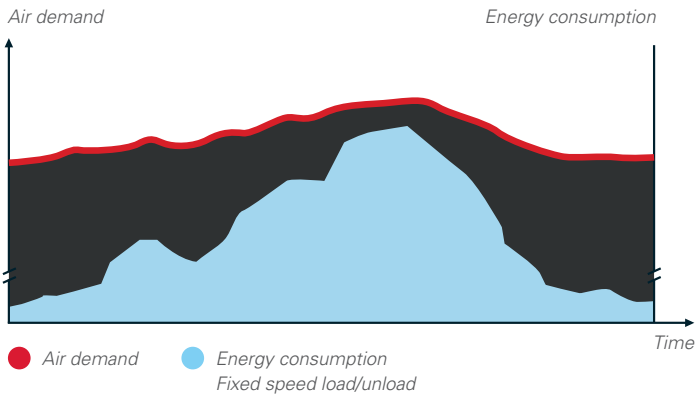
9

VSD+ cubicle

- VSD+ superior to idling machines.
- Electrical components remain cool, enhancing lifetime of components.
- Dedicated drive for iPM technology motors.
- 5% DC choke as standard.
- Heat dissipation of inverter in separate compartment.



In almost every production environment, air demand fluctuates depending on different factors such as the time of the day, week or even month. Extensive measurements and studies of compressed air demand profiles show that many compressors have substantial variations in air demand.



GA Fixed Speed

GA VSD+

● Energy ● Investment ● Maintenance

* Compared to fixed speed compressors, based on measurement performed by an independent energy audit agency.

VSD+ FOR 50% AVERAGE ENERGY SAVINGS*

Atlas Copco’s GAVariable Speed Drive+ (VSD+) technology closely matches the air demand by automatically adjusting the motor speed. Combined with the innovative design of the iPM (Permanent Magnet) motor, this results in average energy savings of 50% and an average cut of 37% in the lifecycle cost of a compressor. VSD+ works with permanent, in-house designed permanent magnet motors.

Why Atlas Copco Variable Speed Drive+ technology?

- On average 50% energy savings with an extensive flow range (20-100%).
- Integrated Elektronikon® Graphic controller controls the motor speed and high efficiency frequency inverter.
- No wasted idling times or blow-off losses during operation.
- Compressor can start/stop under full system pressure without the need to unload with special VSD+ motor.
- Eliminates peak current penalty during start-up.
- Minimizes system leakage due to a lower system pressure.
- EMC Compliance to directives (2004/108/EG).

A STEP AHEAD IN MONITORING AND CONTROLS

The next-generation Elektronikon® operating system offers a great variety of control and monitoring features that allow you to increase your compressor's efficiency and reliability. To maximize energy efficiency, the Elektronikon® controls the main drive motor and regulates system pressure within a predefined and narrow pressure band.



GA 15-26: Elektronikon® controller

- Improved ease of use: intuitive navigation system with clear pictograms and extra 4th LED indicator for service.
- Visualization through web browser using a simple Ethernet connection.
- Easy to upgrade.
- Increased reliability: more durable keyboard.

Key features:

- Automatic restart after voltage failure.
- Delayed Second Stop function.
- Option to upgrade to the advanced Elektronikon® graphic controller.

GA 11+30 & GA 15-37 VSD+: Advanced Elektronikon® graphic controller

- Improved user-friendliness: 3.5-inch high-definition color display with clear pictograms and extra 4th LED indicator for service.
- Internet-based compressor visualization using a simple Ethernet connection.
- Increased reliability: new, user-friendly, multilingual user interface and durable keyboard.

Key features:

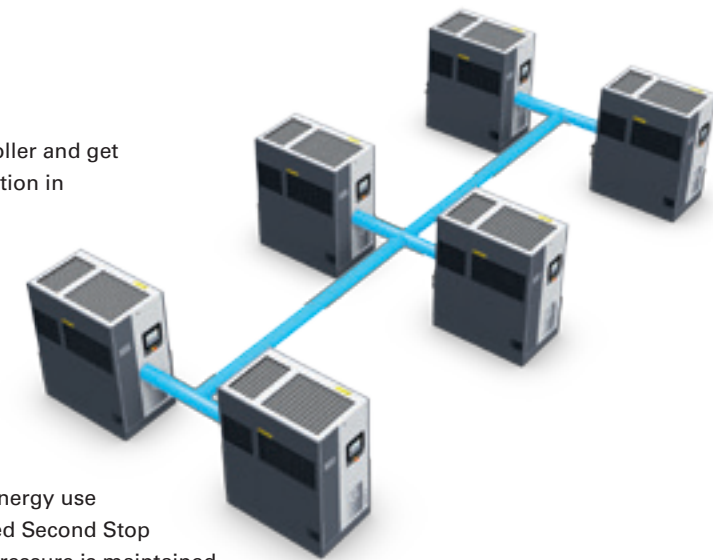
- Automatic restart after voltage failure.
- Dual pressure set point.
- More flexibility: four different week-schedules that can be programmed for a period of 10 consecutive weeks.
- On-screen Delayed Second Stop function and VSD savings indication.
- Graphical indication Serviceplan.
- Remote control and connectivity functions.
- Software upgrade available to control up to 6 compressors by installing the optional integrated compressor controller.

Optional integrated compressor controller

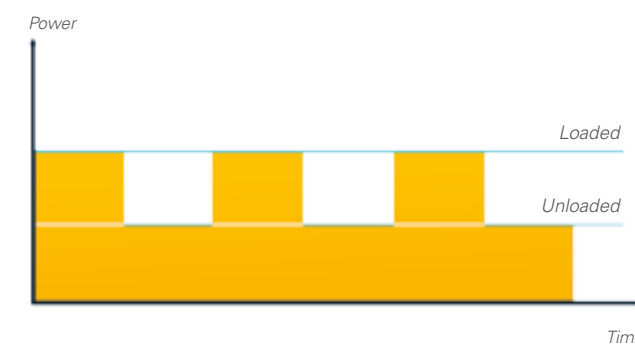
Install, with a simple license, the optional integrated compressor controller and get simple, central control to reduce system pressure and energy consumption in installations of up to 4 (ES4i) or 6 (ES6i) VSD compressors.

Dual pressure set point & delayed second stop

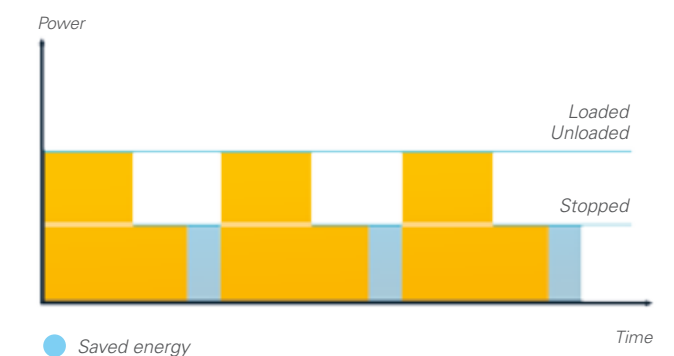
Most production processes create fluctuating levels of demand which, in turn, can create energy waste in low use periods. Using either the standard or graphic Elektronikon® controller, you can manually or automatically create two different system pressure bands to optimize energy use and reduce costs at low use times. In addition, the sophisticated Delayed Second Stop (DSS) runs the drive motor only when needed. As the desired system pressure is maintained while the drive motor's run time is minimized, energy consumption is kept at a minimum.



Without DSS

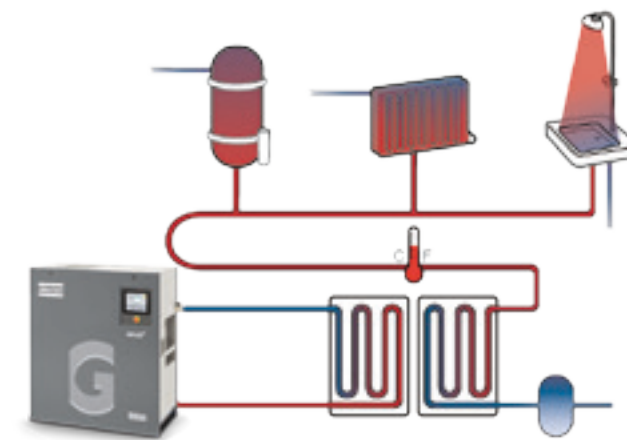


With DSS



Recover and save energy

As much as 90% of the electrical energy used by a compressed air solution is converted into heat. Using Atlas Copco's integrated energy recovery systems, it is feasible to recover up to ≈ 75% of that power input as hot air or hot water without any adverse influence on the compressor's performance. Through efficient usage of the recovered energy, you bring about important energy cost savings and obtain a high return on investment.



Applications

- Auxiliary or main heating of warehouses, workshops...
- Industrial process heating
- Water heating for laundries, industrial cleaning and sanitary facilities
- Canteens and large kitchens
- Food industry
- Chemical and pharmaceutical industries
- Drying processes

TECHNICAL SPECIFICATIONS GA 15-26

COMPRESSOR TYPE		Max. working pressure				Capacity FAD*			Installed motor power		Noise level**	Weight (kg)	
		WorkPlace		WorkPlace Full Feature								WorkPlace	WorkPlace Full Feature
		bar(e)	psig	bar(e)	psig	l/s	m³/h	cfm	kW	hp			
50 Hz VERSION													
GA 15	7.5	75	109	73	105	45.7	164.2	96.9	15	20	65	375	529
	8	8.5	116	8.3	120	43.6	157	92.4	15	20	65	375	529
	10	10	145	9.8	141	3785	136.2	80.2	15	20	65	375	529
	13	13	189	12.8	185	32.4	116.6	68.7	15	20	65	375	529
GA 18	7.5	75	109	73	105	56.5	203.4	119.8	18.5	25	67	464	559
	8	8.5	116	8.3	120	52.5	189	111.3	18.5	25	67	464	559
	10	10	145	9.8	141	47	169.2	99.6	18.5	25	67	464	559
	13	13	189	12.8	185	39.5	142.2	83.7	18.5	25	67	464	559
GA 22	7.5	75	109	73	105	64.6	232.6	137	22	30	68	480	575
	8	8.5	116	8.3	120	62.4	224.6	132.3	22	30	68	480	575
	10	10	145	9.8	141	54.2	195.1	114.9	22	30	68	480	575
	13	13	189	12.8	185	476	171.4	101	22	30	68	480	575
GA 26	7.5	75	109	73	105	72.8	262.1	154.3	26	35	69	490	585
	8	8.5	116	8.3	120	70.5	253.8	149.5	26	35	69	490	585
	10	10	145	9.8	141	66.1	238	140.1	26	35	69	490	585
	13	13	189	12.8	185	56.2	202.3	119.1	26	35	69	490	585
60 Hz VERSION													
GA 15	100	74	107	72	104	45.4	163.4	96.2	15	20	65	375	529
	125	9.1	132	8.9	128	41.5	149.4	88	15	20	65	375	529
	150	10.8	157	10.3	149	38.2	138.5	81	15	20	65	375	529
	175	12.5	181	12.3	178	30.9	111.2	65.5	15	20	65	375	529
GA 18	100	74	107	72	104	56.5	203.4	119.8	18.5	25	67	464	559
	125	9.1	132	8.9	128	51.8	186.5	109.8	18.5	25	67	464	559
	150	10.8	157	10.3	149	45.6	164.2	96.7	18.5	25	67	464	559
	175	12.5	181	12.3	178	41	1476	86.9	18.5	25	67	464	559
GA 22	100	74	107	72	104	66	2376	139.9	22	30	68	480	575
	125	9.1	132	8.9	128	59.2	213.1	125.5	22	30	68	480	575
	150	10.8	157	10.3	149	53.7	193.3	113.8	22	30	68	480	575
	175	12.5	181	12.3	178	478	172.1	101.3	22	30	68	480	575
GA 26	100	74	107	72	104	74.3	2675	1575	26	35	69	490	585
	125	9.1	132	8.9	128	69.2	249.1	146.7	26	35	69	490	585
	150	10.8	157	10.3	149	62.5	225	132.5	26	35	69	490	585
	175	12.5	181	12.3	178	576	2074	122.1	26	35	69	490	585

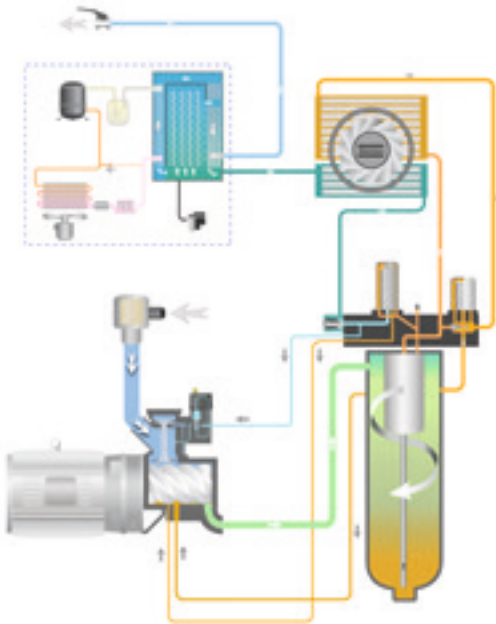


GA 15-26 (STANDARD)

H1: 1558 mm, 61"
H2: 932 mm, 37"
L1: 1853 mm, 73"
L2: 1285 mm, 51"
W: 680 mm, 27"

GA 15-26 (FULL FEATURE)

H: 1558 mm, 61"
L: 1853 mm, 73"
W: 680 mm, 27"



- Intake air
- Air/oil mixture
- Oil
- Wet compressed air
- Condensate
- Dry air
- Gaseous coolant
- Liquid coolant
- Compressed air without free water
- Dry compressed air
- Water
- Refrigerant gas/liquid mixture
- High pressure, hot refrigerant gas
- Low pressure, cool refrigerant gas
- High pressure refrigerant liquid
- Low pressure refrigerant liquid

TECHNICAL SPECIFICATIONS GA 15-37 VSD+

COMPRESSOR TYPE	Maximum working pressure		Capacity FAD* min-max			Installed motor power		Noise level**	Weight (kg)	
	WorkPlace								WorkPlace	WorkPlace Full Feature
	bar(e)	psig	l/s	m³/h	cfm	kW	hp			
GA 15 VSD+	5.5	80	72-42.3	25.9-152.3	15.2-89.6	15	20	64	199	288
	7	102	71-41.8	25.6-150.5	15.0-88.6	15	20	64	199	288
	9.5	138	6.8-35.5	24.5-127.8	14.4-75.2	15	20	64	199	288
	12.5	181	73-27.9	26.3-100.4	15.5-59.1	15	20	64	199	288
GA 18 VSD+	4	58	15.0 - 63.2	53.9 - 227.5	31.7 - 133.8	18	25	67	367	480
	7	102	14.7 - 61.8	53.0 - 222.6	31.2 - 131.0	18	25	67	367	480
	9.5	138	16.9 - 53.0	61.0 - 190.8	35.9 - 112.3	18	25	67	367	480
	12.5	181	16.3 - 43.0	58.5 - 154.8	34.4 - 91.1	18	25	67	367	480
GA 22 VSD+	4	58	15.2 - 76.1	54.6 - 274.0	32.1 - 161.2	22	30	67	363	485
	7	102	14.8 - 74.3	53.3 - 267.6	31.3 - 157.4	22	30	67	363	485
	9.5	138	17.1 - 64.5	61.5 - 232.1	36.2 - 136.6	22	30	67	363	485
	12.5	181	16.9 - 53.5	60.7 - 192.5	35.7 - 113.2	22	30	67	363	485
GA 26 VSD+	4	58	14.8 - 85.8	53.2 - 309.0	31.3 - 181.8	26	35	67	373	490
	7	102	14.5 - 85.3	52.1 - 307.2	30.6 - 180.7	26	35	67	373	490
	9.5	138	16.9 - 77.9	60.7 - 280.5	35.7 - 165.1	26	35	67	373	490
	12.5	181	16.3 - 64.1	58.8 - 230.8	34.6 - 135.8	26	35	67	373	490
GA 30 VSD+	4	58	15.1 - 98.0	54.3 - 352.8	31.9 - 207.6	30	40	67	376	500
	7	102	15.0 - 97.4	54.1 - 350.5	31.8 - 206.2	30	40	67	376	500
	9.5	138	17.2 - 85.6	61.7 - 308.2	36.3 - 181.3	30	40	67	376	500
	12.5	181	16.7 - 72.0	60.0 - 259.1	35.3 - 152.4	30	40	67	376	500
GA 37 VSD+	4	58	15.3 - 116.4	55.1 - 418.9	32.4 - 246.4	37	50	67	376	500
	7	102	14.8 - 114.8	53.2 - 413.2	31.3 - 243.1	37	50	67	376	500
	9.5	138	17.1 - 102.1	61.5 - 367.7	36.2 - 216.3	37	50	67	376	500
	12.5	181	16.4 - 86.6	58.9 - 311.8	34.6 - 183.4	37	50	67	376	500

* Unit performance measured according ISO 1217 ed. 4 2009, annex E, latest edition.
** Mean noise level measured at a distance of 1 m according to ISO 2151: 2004 using ISO 9614/2 (sound intensity method); tolerance 3 dB(A).

Reference conditions:
- Absolute inlet pressure 1 bar (14.5 psi).
- Intake air temperature 20°C, 68°F

FAD is measured at the following effective working pressures:
- 5.5 bar(e)
- 7 bar(e)
- 9.5 bar(e)
- 12.5 bar(e)
Maximum working pressure:
- 13 bar(e) (188 psig)

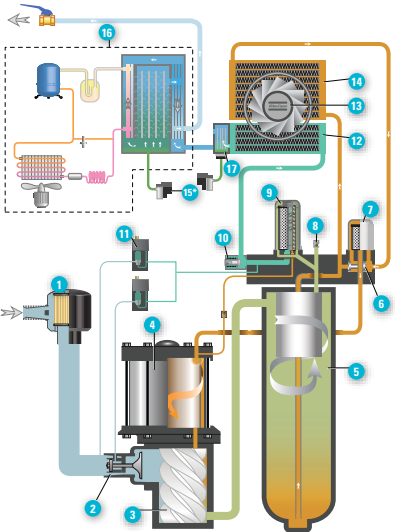


GA 15 VSD+ (STANDARD/FULL FEATURE)

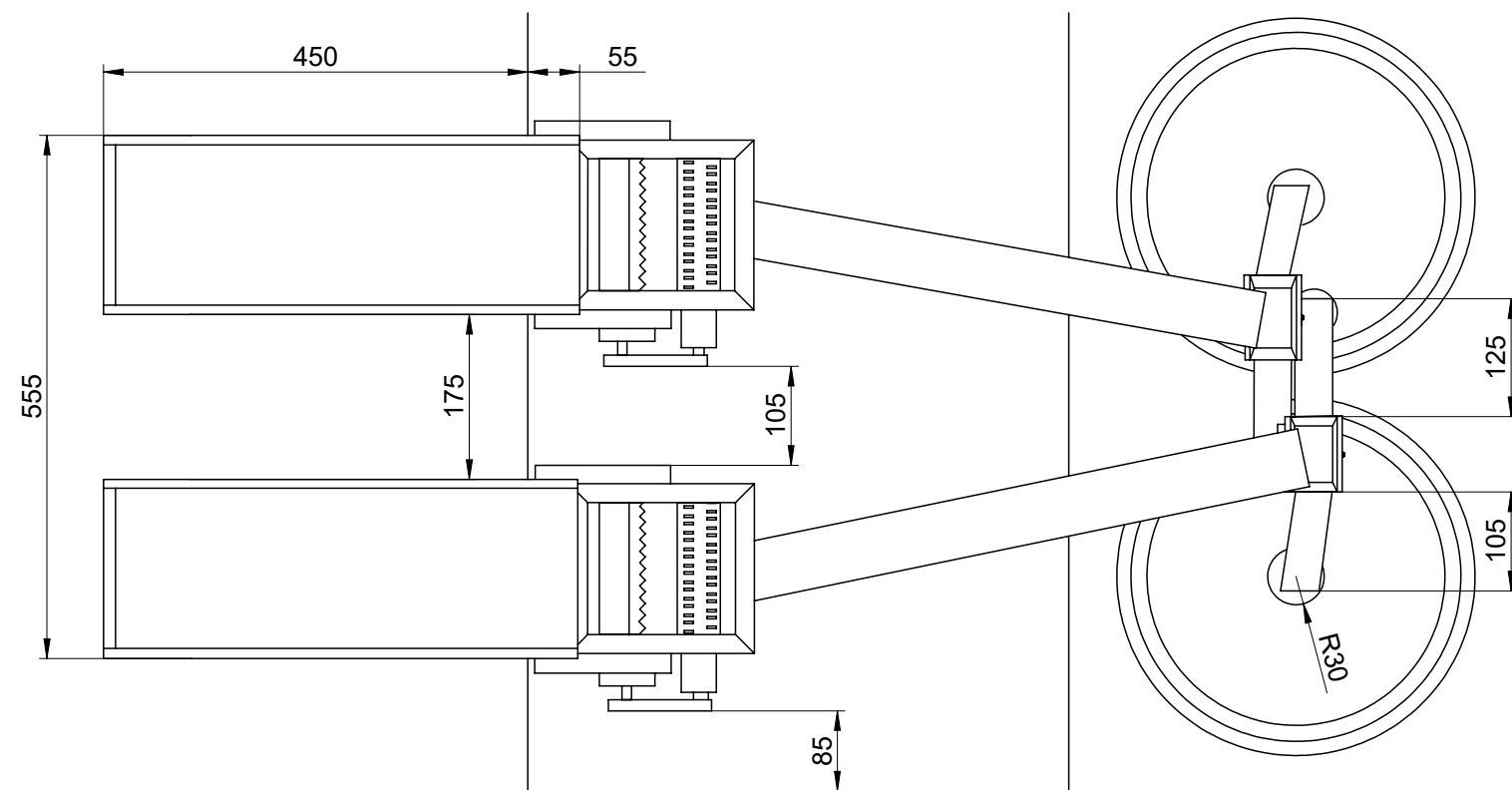
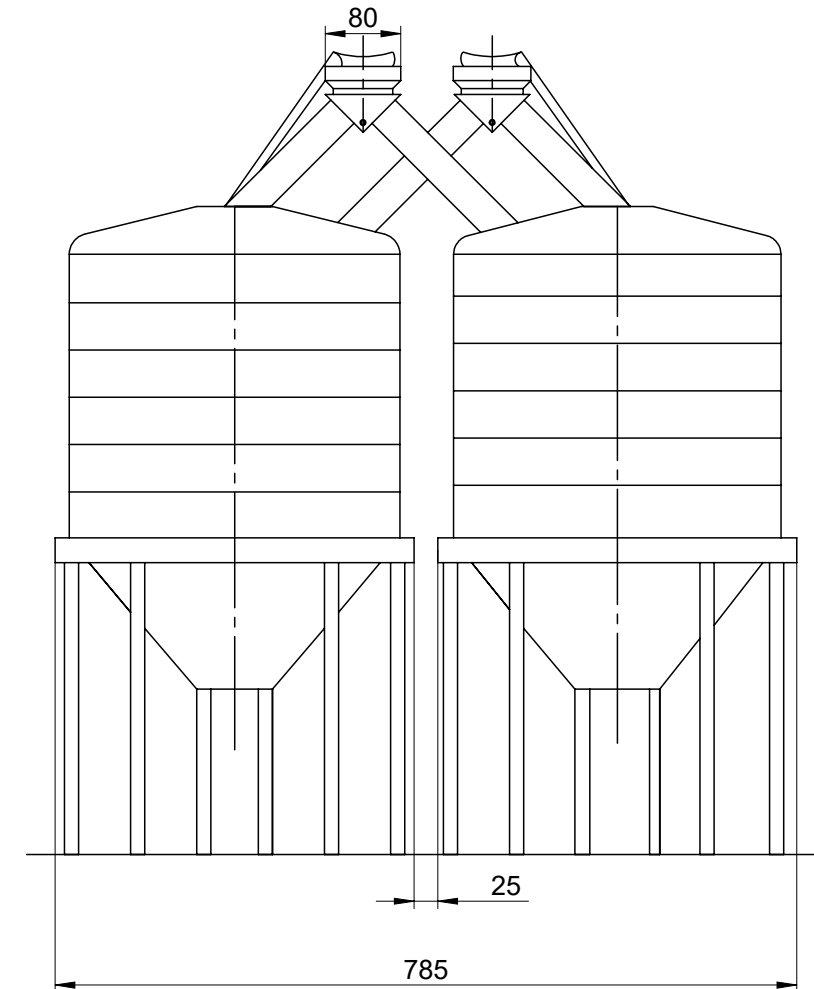
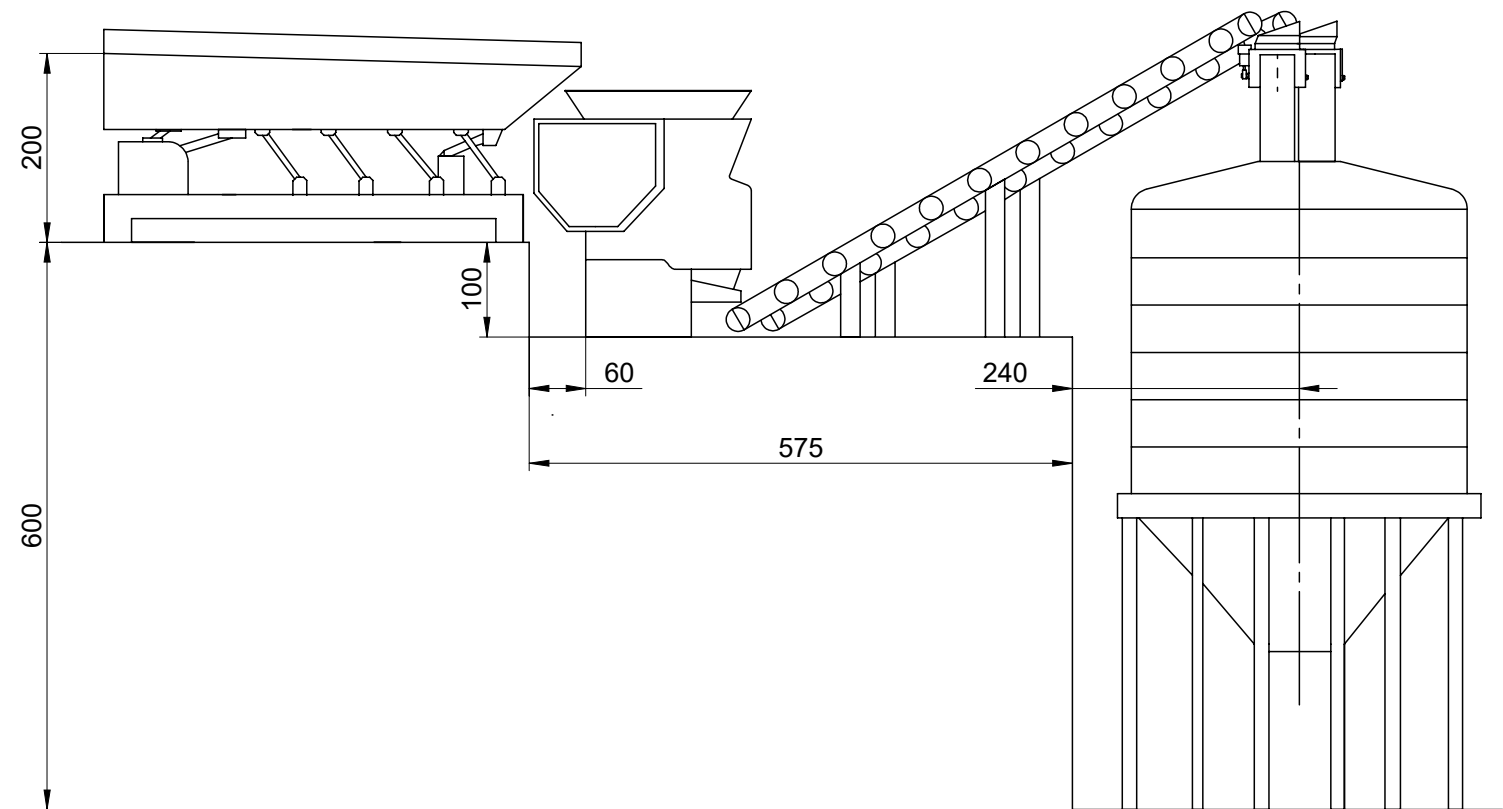
H: 1420 mm, 56"
L: 630 mm, 25"
W: 610/985 mm, 24/39"

GA 18-37 VSD+ (STANDARD/FULL FEATURE)

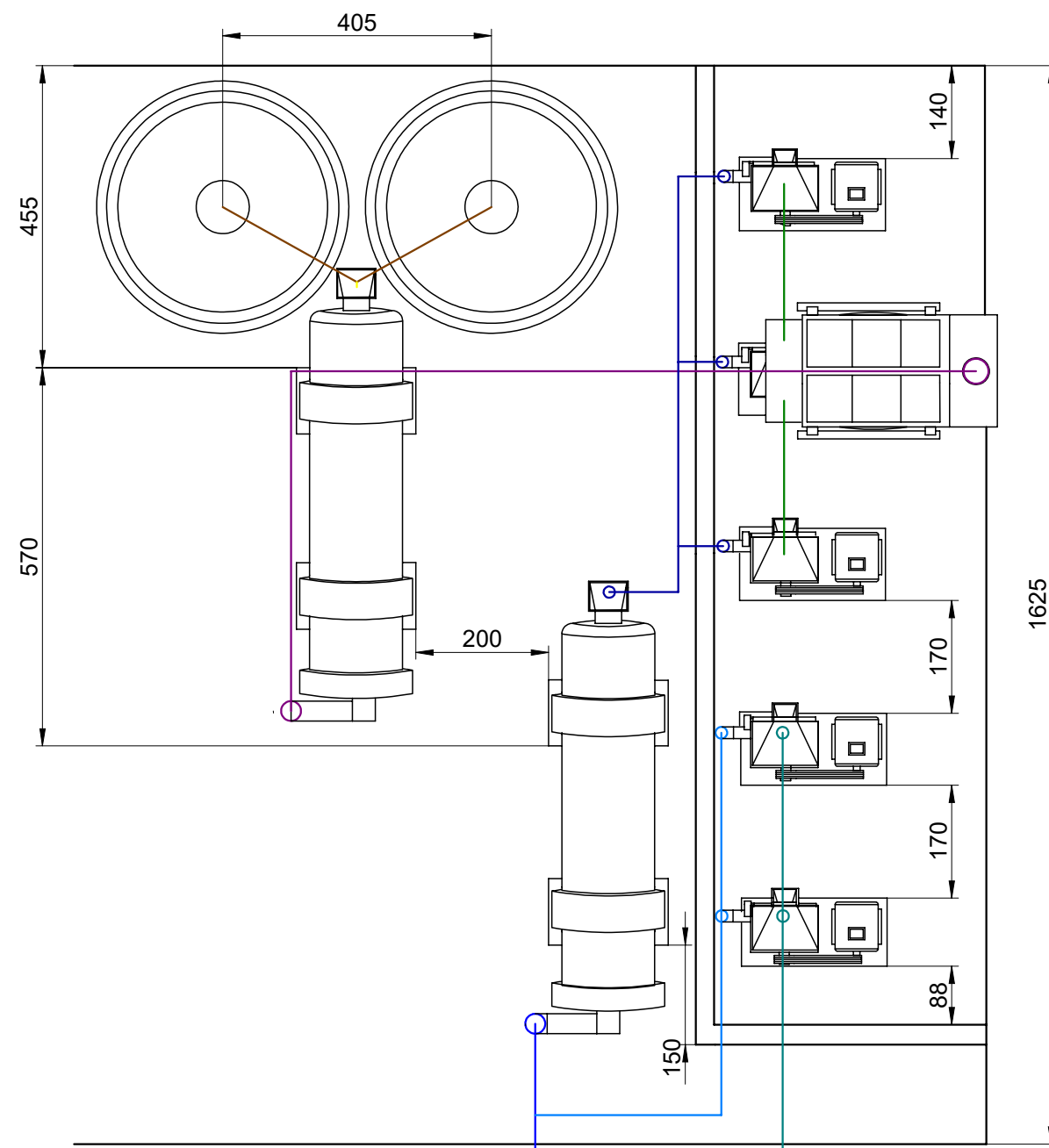
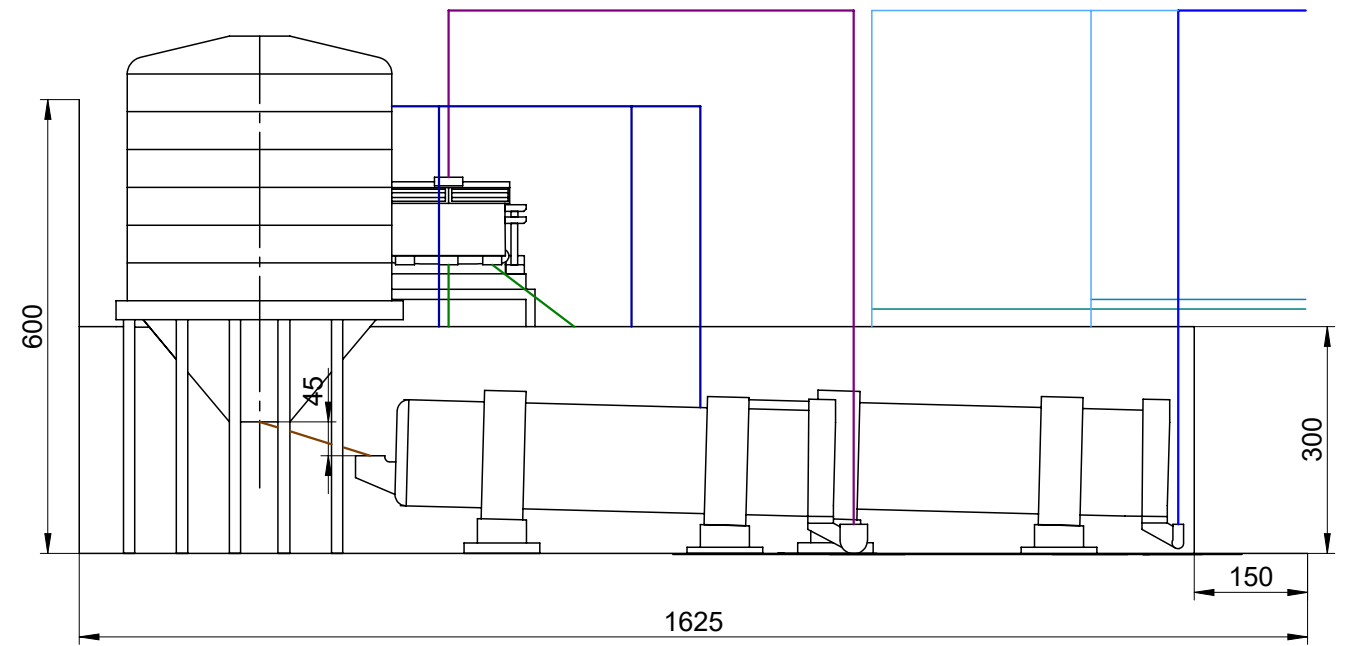
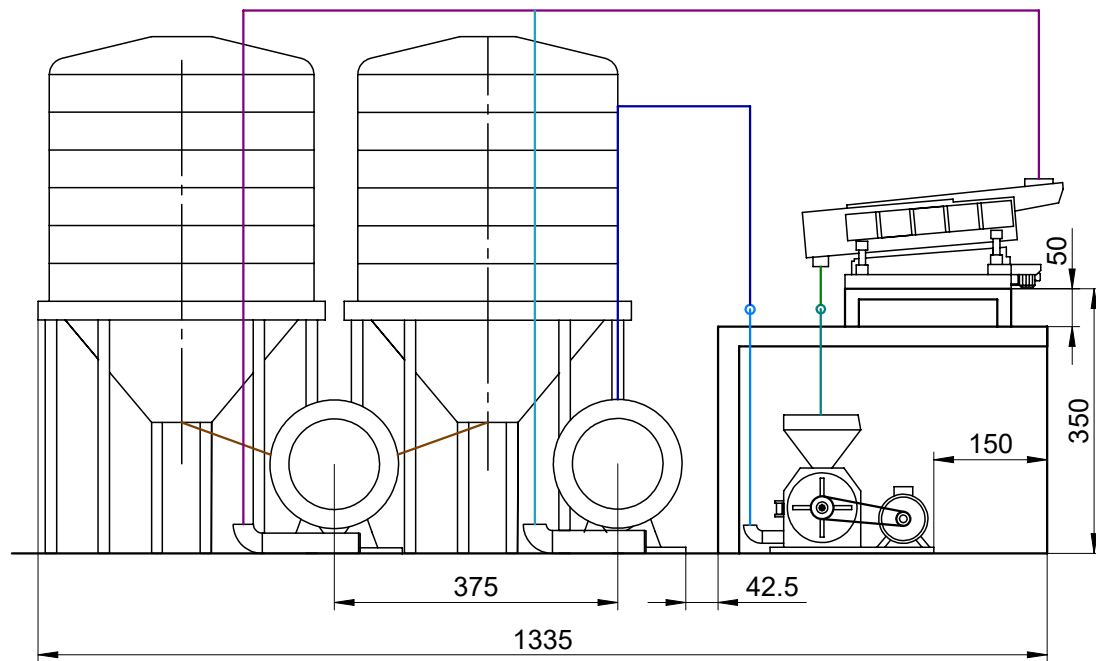
H: 1590 mm, 63"
L: 780 mm, 31"
W: 811/1273 mm, 32/50"



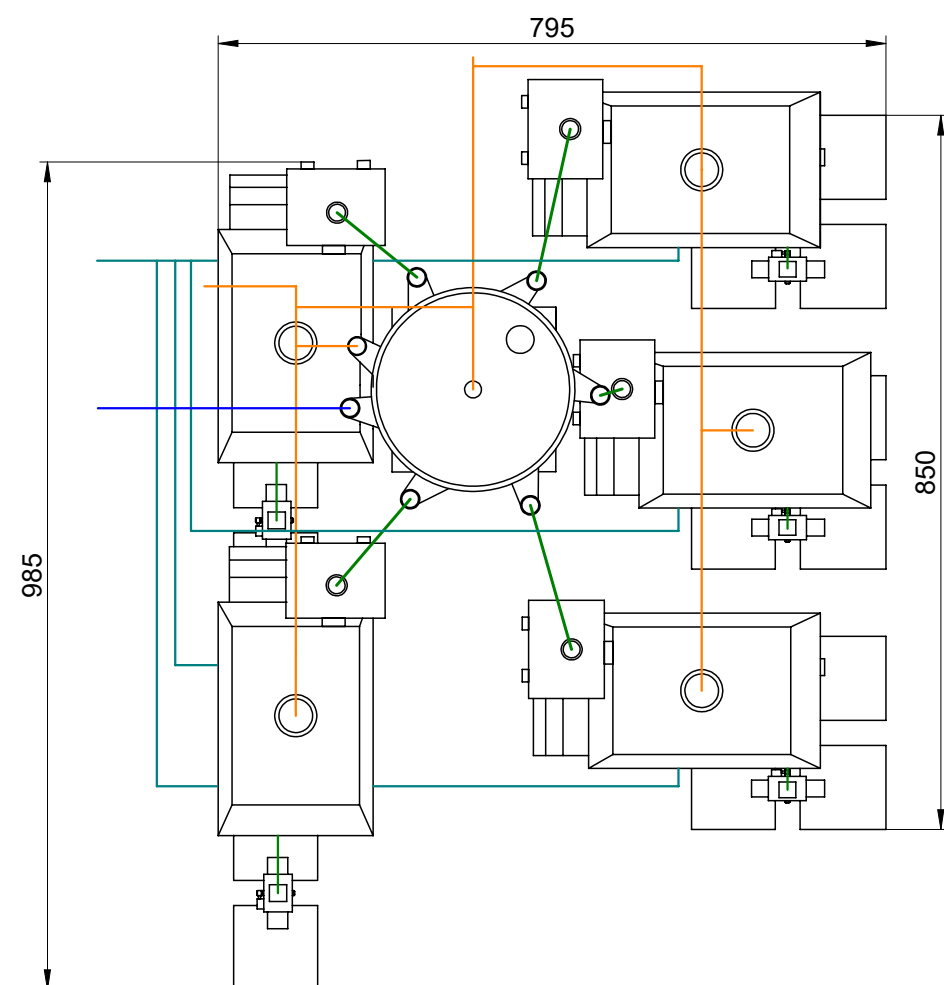
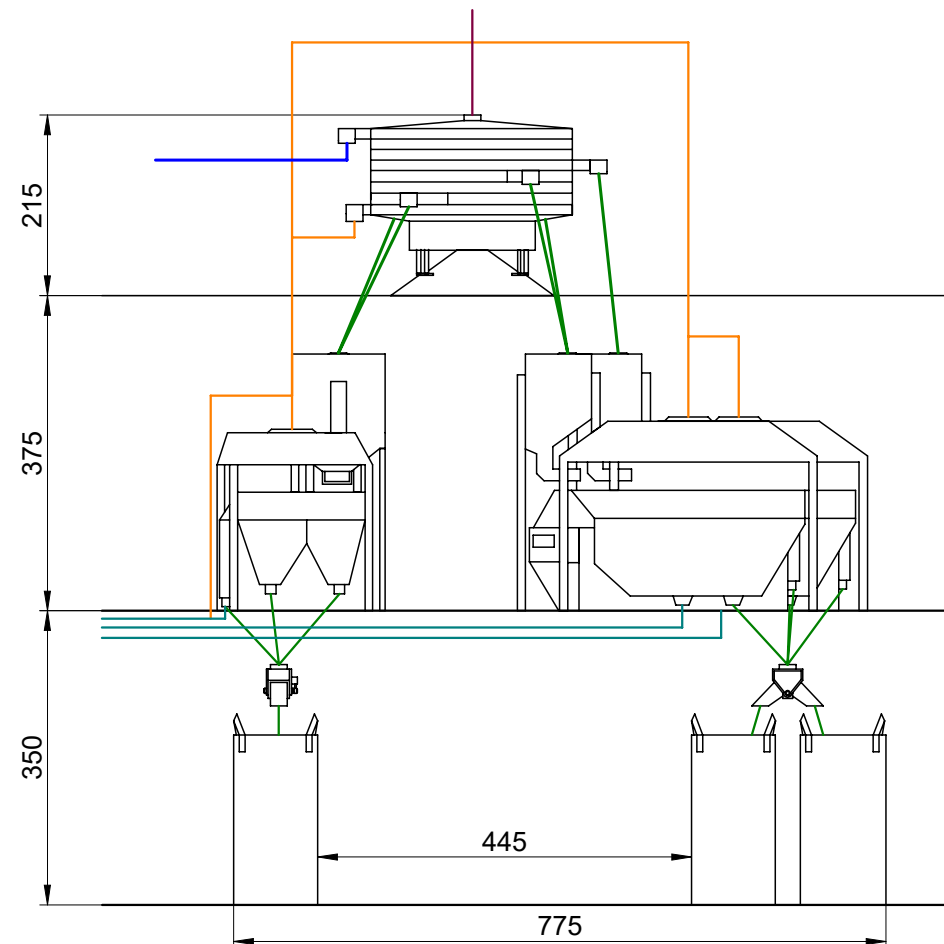
- Wet compressed air
- Condensate
- Dry compressed air
- Intake air
- Air/oil mixture
- Oil
- 1 Inlet filter
- 2 Sentinel valve
- 3 Screw element
- 4 Interior permanent magnet motor (iPM)
- 5 Air/oil vessel
- 6 Thermostatic bypass valve
- 7 Oil filter
- 8 Safety valve
- 9 Oil separator
- 10 Minimum pressure valve
- 11 Solenoid valve
- 12 After-cooler
- 13 Fan
- 14 Oil-cooler
- 15 Electronic drain (* mounted on after-cooler on models without dryer)
- 16 Dryer (Full Feature option)
- 17 Condensation prevention cycle



	Proj.	10/09/18		FCT-NOVA	Diogo Martins				
	Des.	15/03/18							
	Visto	15/03/18							
	Escala	Montagem do primeiro patamar			43117.1				
1:80									

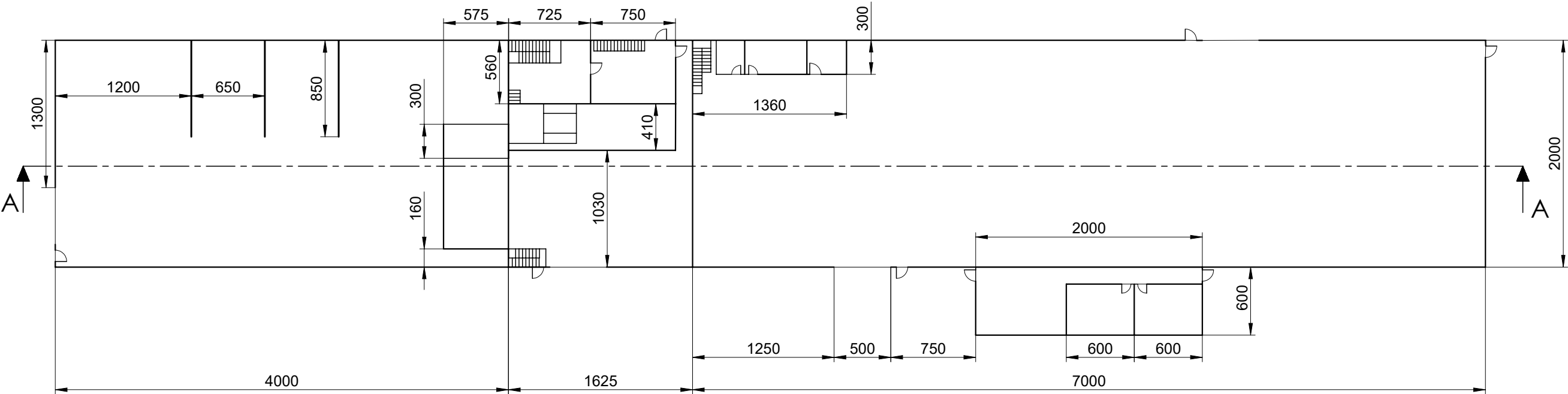
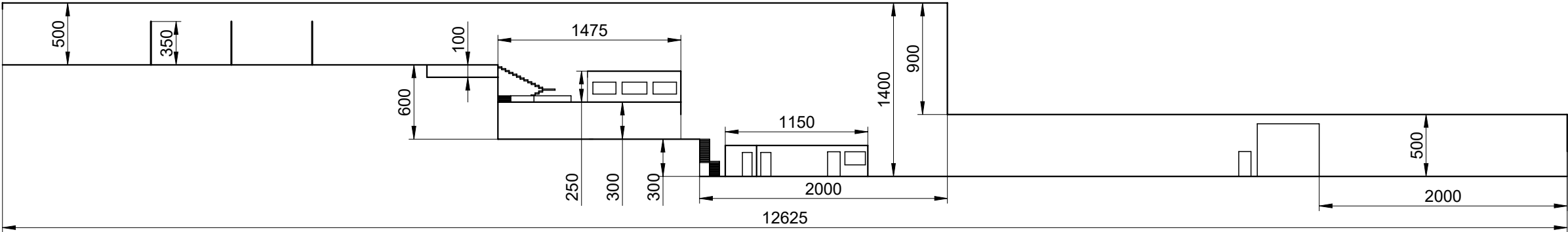


	Proj.	10/09/18		FCT-NOVA	Diogo Martins				
	Des.	15/03/18							
	Visto	15/03/18							
	Escala	Montagem do segundo patamar com respetiva rede pneumática			43117.2				
	1:100								



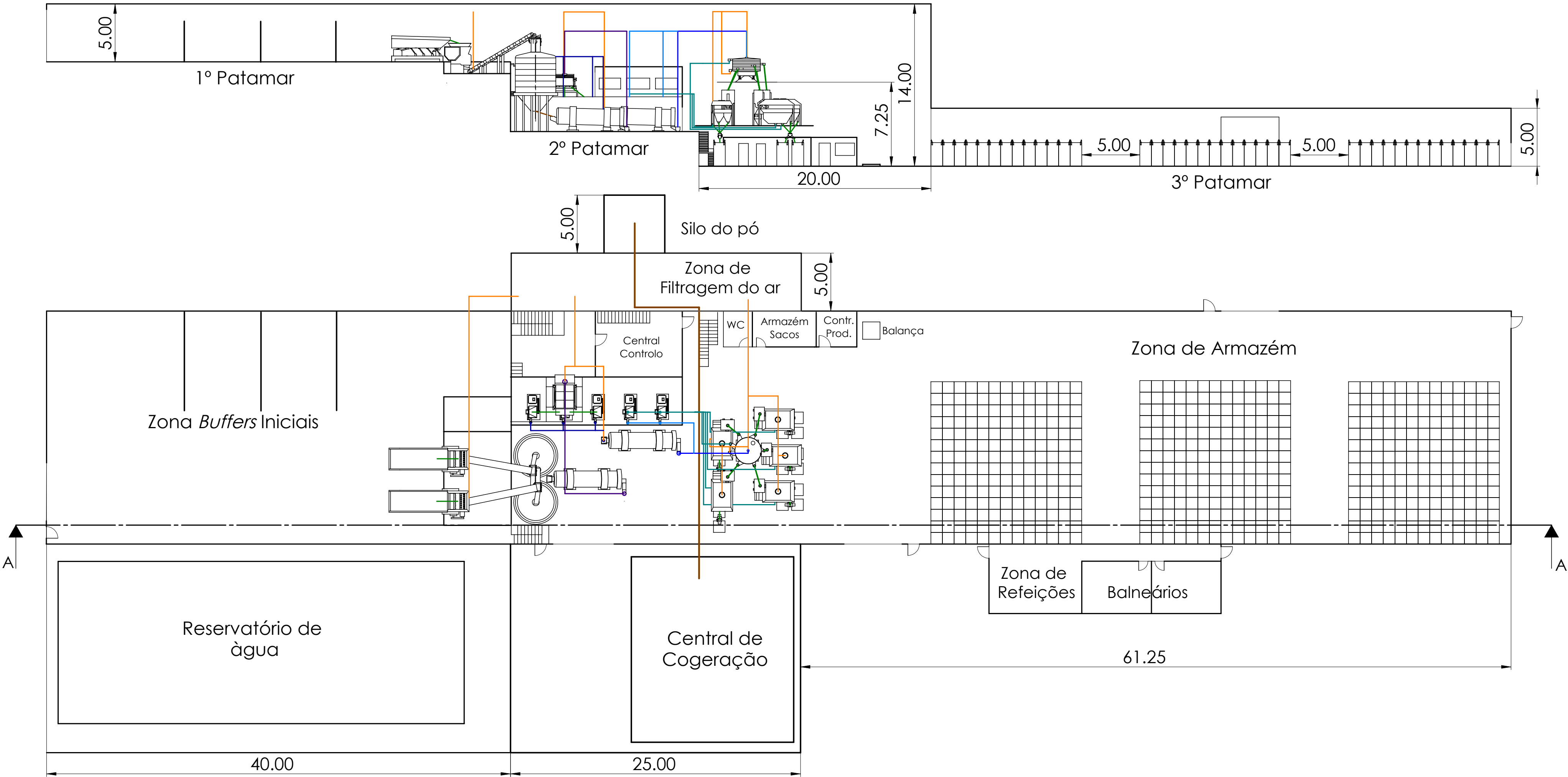
	Proj.	10/09/18		FCT-NOVA	Diogo Martins			
	Des.	15/03/18						
	Visto	15/03/18						
	Escala	Montagem do terceiro patamar com respetiva rede pneumática			43117.3			
	1:90							

Corte AA



	Proj.	10/09/18		FCT-NOVA	Diogo Martins
	Des.	15/03/18			
	Visto	15/03/18			
	Escala	Planta Interior			43117.4
	1:400				

Corte AA



	Projetou	10/09/18	FCT-NOVA	Diogo Martins
	Desenhou	15/09/18		
	Verificou	15/09/18		
	Escala	1:250	Layout final do processo com representação da rede pneumática	43117.5